

令和 2 年 5 月 22 日現在

機関番号：32678

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18789

研究課題名(和文) K-darkバンドを用いた天文観測を開拓する南極大気光の分光観測

研究課題名(英文) Spectroscopic Observation of Atmospheric Emission at K-dark band from Antarctica

研究代表者

津村 耕司 (Tsumura, Kohji)

東京都市大学・知識工学部・准教授

研究者番号：60579960

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：南極での大気光観測のために設計したりニアバリアブルフィルター(LVF)を製作することができた。納品されたLVFの分光透過率の測定結果は良好であり、南極での観測を実現できれば、K-darkバンドの波長帯での大気光スペクトルを得ることができる見込みを得た。また、赤外線検出器用冷凍機のメンテナンスを実施し、継続して岡山にて天文観測を実施できている。

国際会議Polar2018にて本研究計画についてポスター発表を行うとともに、フランスのニース大学を訪問し、南極ドームCでの観測の実現可能性について議論を進めることができた。しかし、装置を持ち込んでの観測の実現に向けての具体的な計画を得るには至らなかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

南極は地球上に残された最後の天文観測適地であり、その開拓は世界競争の中で進められている。日本は電波観測においては計画が進んでいるものの、赤外線観測においては世界に遅れをとっているのが現状である。その中で、K-darkバンドに着目するというユニークさを活かし、大気光観測に必要なフィルターを製作できたことは意義がある。これを元に、南極での観測の実現可能性を引き続き検討する。

研究成果の概要(英文)：The Linear Variable Filter (LVF) designed for observation of atmospheric emission in Antarctica has been fabricated. The spectral transmission of the delivered LVF was good, and we expect to obtain the atmospheric spectrum in the K-dark band if the observation in Antarctica can be realized. Maintenance of the refrigerator for the infrared detector has been carried out, and astronomical observations have been continued in Okayama. We gave a poster presentation on this research plan at the international conference Polar2018, and we also visited the University of Nice in France to discuss the feasibility of the observation at the Dome C in Antarctica. However, we were not able to obtain a concrete plan for the realization of the observations with our equipments in Antarctica.

研究分野：赤外線天文学

キーワード：南極 赤外線天文学 大気光

1. 研究開始当初の背景

赤外線波長帯における地上からの天文観測における最大の障害は、地球大気存在である。地球大気が宇宙からの赤外線を吸収することに加え、大気自身の発光が明るい前景光となり、宇宙からの淡い信号の検出を妨げる。その中で、高い大気透明度や高い晴天率、低い水蒸気量など、天文観測にとっての好条件が揃っているため、南極は天文学に遺された最後のフロンティアである。図1は大気球によって観測された上空での大気光スペクトルである。地上からの天文観測の最大の障害である大気光の原因はOH分子による輝線であるが、2.4 μm 帯にはK-darkバンドと呼ばれる「OH輝線の窓」がある事が図1からはっきりと分かる。しかしこの「OH輝線の窓」は通常は地球大気の熱放射により覆い隠されてしまう。地球上で唯一この「OH輝線の窓」を活用出来る可能性があるのは、上空が-70度という低温になる南極である。しかし、南極でK-darkバンドでの大気光環境を詳しく調べた研究は今までにない。もし南極でのK-darkバンドにおける大気光が本当に十分暗いと確認できれば、大気光に影響されない宇宙望遠鏡による天文観測を凌駕する観測を、南極でK-darkバンドを用いることで実現出来る可能性がある。

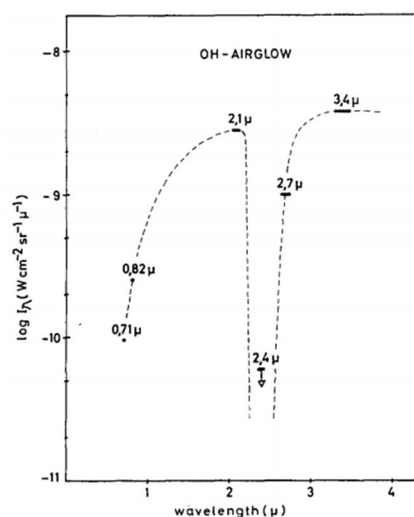


図1 気球観測による大気光スペクトル(Hofmann et al. 1977)

以上のような理由から、南極での天文学の開拓は世界規模で検討されている。その中で日本は、東北大学が中心となって、口径2.5mの赤外線望遠鏡を実現させるべく研究開発を進めてきた。しかし、南極観測船「しらせ」が南極に着岸できなかったなどの外的要因が重なり、日本の南極赤外線望遠鏡の開発は足踏みを余儀なくされている状態である。そのような状況の中、日本がフロントランナーとして南極での天文学を開拓するためには、他国と差別化を図り、日本独自の視点において世界に先駆けた観測を実現することが重要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、まだ誰も観測的に確認していない南極でのK-darkバンドでの大気光スペクトルを実測することを目指し、その波長帯での天文学の有効性を確認し、将来の南極での天文学を開拓することを目指すことである。

南極におけるK-darkバンドの有用性は広く認識されてはいるものの、過去にK-darkバンドの大気光スペクトルを実測した例はほとんどない。そこで本研究では、世界に先駆けて南極大気光スペクトルを実測し、K-darkバンドでの南極天文学の有用性を実証をめざす。もし宇宙からの観測と同程度の低大気光環境が南極で得られるならば、低大気光環境による感度上昇にとどまらず、近赤外線での地上からの面輝度観測という、今までにはない新しいサイエンスを切り拓くことができる。

赤外線面輝度観測は特殊な技術が必要なため、既存もしくは近い将来に予定されている天文衛星では詳細な観測は困難である。そこで現在では専用の望遠鏡を搭載した観測ロケット(CIBER)にて観測が進められており、通常の銀河進化モデルでは説明できない未知の赤外線面輝度成分が検出されると我々はScience誌に報告した(Zemcov et al. 2014)。この観測はわずか口径10cmの望遠鏡によるたった10分程度の観測により得られた科学成果であるが、南極望遠鏡ならば、望遠鏡サイズ10倍以上、観測時間100倍以上、合わせて感度換算で数十倍の高感度な観測が将来的には実現できる可能性がある。さらに、高分散分光など宇宙望遠鏡では実現困難な高性能な観測手法を用いる事で、質的にも宇宙望遠鏡を凌駕した観測も可能となる。様々な技術的制約により宇宙望遠鏡では実現困難な赤外線面輝度観測を本研究により南極で開拓することにより、宇宙を満たす未知の赤外線面輝度成分の正体を探り、宇宙の星形成史を解き明かしたい。

3. 研究の方法

東北大学には、K-darkバンドを含む波長帯に感度を持つ南極仕様のカメラ(図2)があり、本研究ではこの既存のカメラをベースに、本研究目的に沿った開発を行う。このカメラには256×256ピクセルのInSb検出器とフィルターホイールが内蔵されており、各種バンドでの撮像のほか、ダーク画像の取得も可能である。機械式冷凍機を接続し検出器を冷却することで高感度な観測が可能である。

大気光という明るい面輝度の観測には、広視野であれば

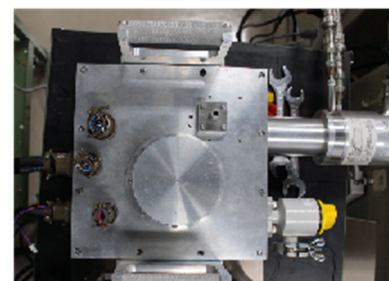


図2 東北大所有の赤外線カメラ

望遠鏡の口径は小さくても良い。そこで、カメラの前に複数枚のレンズを組み合わせ広視野を確保することで、目的とする観測が実現可能である。具体的には、口径数 cm の市販レンズを数枚組み合わせることで、視野 2 度程度の光学系を構成したいと考えている。似たコンセプトの光学系として、これと類似のカメラの前に口径 3cm のレンズを組み合わせた IR-TMT という明るい恒星専門の望遠鏡を東北大学で開発し、既に観測を行っている。

K-dark バンドの特性を調べるためには、そのバンド幅の両側を含む波長域で大気光を分光観測し、K-dark バンドの全体構造をスペクトルとして把握する必要がある。大気光の分光は、場所ごとに透過波長帯が異なるリニアバリアブルフィルター (LVF、図 3) を用いる事で実現できると考えている。この手法だと新たな分光光学系を付加する事なく、単にフィルターホイールに LVF を挿入するだけで大気光分光が簡単に実現できる。

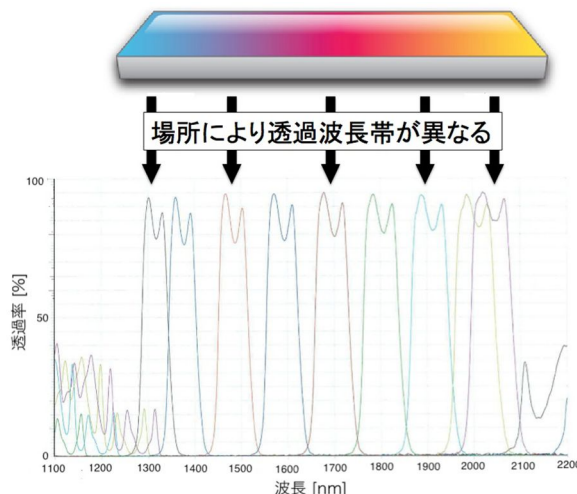


図 3 LVF のイメージ図(上)と、実績のある分光透過率

4. 研究成果

南極での K-dark バンドの波長帯における大気光観測のために専用に設計した LVF を製作することができた。この LVF は 1 年間かけて、国内代理店を通じてドイツのメーカーと仕様の検討を進めた。製作の過程において、フィルター領域にわずかな湾曲が生じてしまい、直進性を高めるための改善を行うなど、製作過程においてもいくつかの問題が生じたものの、2018 年度内に無事に製作が完了し、納品された。測定された分光透過率も良好であり、このフィルターにて南極での観測を実現できれば、K-dark バンドの波長帯での大気光スペクトルを得ることができる見込みを得ることができた。

また、これを搭載する赤外線カメラについては、このカメラに取り付けられた赤外線検出器を冷却するための冷凍機システムに対して、コールドヘッドと呼ばれる消耗品部分の交換などのメンテナンスを実施した。メンテナンスされたカメラシステムにより、継続して岡山にて天文観測を実施することができており、状態は良好である。

肝心の南極での天文観測の実現については、南極での科学研究に関する国際会議 Polar2018 にて本研究計画についてポスター発表を行い、世界の南極天文学に関する研究者たちと議論を進めることができた。特にこの機会を利用して、フランスのニース大学を訪問し、フランスが南極で運営しているドーム C に本装置を持ち込んでの観測の実現可能性について議論を進めることができた。しかし、装置を持ち込んでの観測の実現に向けての具体的な計画を得るには至らなかった点が残念である。今後は、各装置の要素は整っているの、引き続き南極での観測の実現に向けて可能性を探り続けたいと考えている。

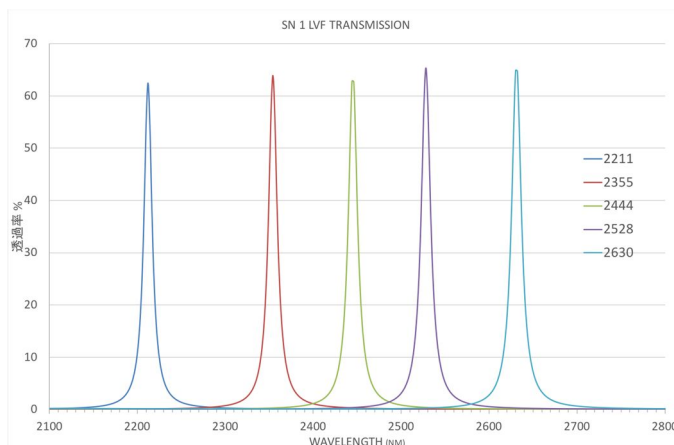


図 4 納品された LVF (上)と、その分光透過率測定値(下)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 2件）

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) doi.org/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) doi.org/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 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 Arimatsu Ko, Tsumura Kohji, Ichikawa Kohei, Usui Fumihiko, Ootsubo Takafumi, Kotani Takayuki, Sarugaku Yuki, Wada Takehiko, Nagase Koichi, Watanabe Jun-ichi	4. 巻 69
2. 論文標題 Organized Autotelescopes for Serendipitous Event Survey (OASES): Design and performance	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 68
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx048	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 Nayyeri H., Ghotbi N., Cooray A., Bock J., Clements D. L., Im M., Kim M. G., Korngut P., Lanz A., Lee H. M., Lee D. H., Malkan M., Matsuhara H., Matsumoto T., Matsuura S., Nam U. W., Pearson C., Serjeant S., Smidt J., Tsumura K., Wada T., Zemcov M.	4. 巻 234
2. 論文標題 Spitzer Observations of the North Ecliptic Pole	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series,	6. 最初と最後の頁 38
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/aaa07e	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19件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 4件)

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 津村耕司
2. 発表標題 木星天文台の実現を目指して
3. 学会等名 第3回東北大学若手研究者アンサンブルワークショップ
4. 発表年 2017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2016)」の報告
3. 学会等名 第31回天文教育研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 津村耕司, 松浦周二
2. 発表標題 将来の惑星間望遠鏡の実現に向けての展望
3. 学会等名 第18回宇宙科学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 津村耕司, 市川隆, 板由房
2. 発表標題 K-dark バンドでの南極大気光スペクトルを調べる小型南極カメラの開発
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tsumura Kohji, Hattori Makoto, Ita Yoshifusa, Tanaka Mikita, Noda Hirofumi, Nishiyama Shogo, Matsushita Masato, Mizoguchi Sahori, Iwasaki Hitomi, Naka Chiharu
2. 発表標題 A report of an astronomical outreach event for high school students "What if you could become an astronomer in a week? (MoshiTen)"
3. 学会等名 Communicating Astronomy With The Public - CAP 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohji Tsumura, Takashi Ichikawa, Yoshifusa Ita
2. 発表標題 Developing a Spectrograph for Observing the Atmospheric Emission in Kdark band
3. 学会等名 Polar 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計3件

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 VOL.2: 若手研究者が挑む学際フロンティア	

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 196
3. 書名 百科総覧 VOL.1: 若手研究者が挑む学際フロンティア	

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----