

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 10 月 20 日現在

機関番号：11302

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K18760

研究課題名(和文) レーザーコムと新しい近赤外線分光器による、110億年前の微細構造定数の精密測定

研究課題名(英文) Measurement of the fine structure constant 11 billion years ago using a laser frequency comb and new near-infrared spectrograph

研究代表者

西山 正吾 (Nishiyaa, Shogo)

宮城教育大学・教育学部・准教授

研究者番号：20377948

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,800,000円

研究成果の概要(和文)：本事業では、クエーサーの観測を用いた約110億年前の微細構造定数の測定を目指していた。しかし新型コロナウイルス感染拡大により、観測に必要なすばる望遠鏡の新レーザーガイド星システムの開発が間に合わず、クエーサーの観測を実施できなかった。その間、巨大ブラックホールによる強い重力下における微細構造定数の測定を目指し、銀河系の中心にある星の観測を進めた。その結果、強い重力下における微細構造定数の変化の初検証を行うことができた。微細構造定数の変化はみられず、変化に対して 6×10^{-6} のマイナス6乗という制限を得ることができた。また地球と銀河系中心の間で、微細構造定数に変化は10のマイナス4乗以下、という結果を得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現在の理論は、微細構造定数を含む物理定数が宇宙の歴史で変わらない、と仮定している。もしこの仮定が間違っていたら、様々な理論を再検証する必要が出てくる。本研究は当初、宇宙初期(約110億年前)の微細構造定数の測定を目標にしていた。しかし新型コロナウイルスの影響で、装置の開発が遅れ、観測を実行できなかった。そのため、巨大ブラックホールの近くの強い重力場、という別の極端な環境での物理定数(微細構造定数)の変化の検証を行った。私たちの研究は、強重力場という極端な環境での初めての検証である。そのような環境でも、微細構造定数は変化していない、という結論が得られた。

研究成果の概要(英文)：We planned to observe QSO, and measure the fine structure constant 11 billion years ago. However, due to the spread of the Covid-19 infection, the development of the new laser guide star system on the Subaru telescope has delayed, and we could not observe the QSO. We observed stars at the center of our Milky Way galaxy, to measure the fine structure constant in the condition of strong gravity. This is the first study of the variation of the fine structure constant under strong gravity. We found no variation in the constant, and obtained a constraint on the constant of 6×10^{-6} . We also observed stars between the Earth and the center of our Galaxy, and found no variation of the fine structure constant. The constraints we obtained are about 10

研究分野：Astrophysics

キーワード：天文学 クエーサー 赤外線 分光 物理定数

1. 研究開始当初の背景

物理法則の中には、いくつかの定数が含まれる。この定数の値を理論的に計算することはできず、測定して初めてその大きさ(値)がわかる。このような定数を物理定数と呼ぶ。物理定数はその名の通り、宇宙のどこで測定しても、いつの時代でも値は変わらないと考えられている。そして物理定数を定数として、様々な自然現象を説明する理論が組み立てられている。

その一方、物理定数の「変化」を予想する理論も存在する。素粒子の世界を記述する標準モデルと、アインシュタインの一般相対性理論を統合する理論の中には、物理定数の変化を必要とするモデルもある。そのような理論のひとつである超ひも理論では、この世界は時空 4 次元に加えて、さらなる次元の存在を予言する。余剰次元が存在するのであれば、物理定数は定数である必要はない。多次元世界で定数であればよく、その射影である 4 次元時空では変化して構わない。もし物理定数の「変化」が発見されれば、それは自然科学の、新たな世界への一歩となる。

2000 年前後に、物理定数の変化を示唆する研究結果が得られた。宇宙にあるクエーサーを観測し、遠い過去の微細構造定数の値 α を測定すると、現在の値とは異なっている、という結果であった(引用文献 1)。微細構造定数は、電磁気力の強さを規定する。微細構造定数の値が変化すると、原子核や電子の間の相互作用の強さが変化するので、元素がつくるスペクトル線の波長が変化する。その変化を測定することで、微細構造定数の値を測定することができる。

2. 研究の目的

私たちの研究の目的は、「物理定数の不変性の検証」である。現在の時点で、地球上の実験では、物理定数の変化は検出されていない。もし定数が変化しているとしたら、それは地球上では再現できないような極端な環境だと考えられる。そこで私たちは、(i) 約 110 億年前の宇宙初期、(ii) 巨大ブラックホール近くの強い重力場、という環境での微細構造定数の測定を計画した。

(i)宇宙初期の微細構造定数の測定のためには、クエーサーと呼ばれる天体を測定する。クエーサーは非常に遠方にある、銀河の中心が極端に明るく光る天体である。クエーサーからの光のスペクトルを観測すると、元素による吸収線がみられる。その中には、クエーサーと私たちの間にある、銀河間物質による吸収線がある。この吸収線の波長を測定することで、クエーサーから発せられた光が銀河間物質を通過した時代の、微細構造定数の値を測定することができる。

(ii)強い重力場における微細構造定数を測定するため、私たちは銀河系の中心領域の星を観測した。銀河系の中心には巨大ブラックホールいて座 A スター(Sgr A*)があり、その周囲を星が周回している。周回している星を観測し、そのスペクトルの中の元素の吸収線の波長を測定することで、巨大ブラックホールによる強い重力場の中にある星の微細構造定数の値を測定することができる。

3. 研究の方法

宇宙初期の微細構造定数の値を測定するために、私たちは QSO B1422+231 という天体に着目した。このクエーサーのスペクトルには、赤方偏移 3.5 に対応する元素(鉄、マグネシウム)の吸収線が観測されている(図 1)。これは今から約 119 億年前に銀河間物質を通過した光が、私たちに今、届いていることを意味する。つまりこの吸収線を使って計算する微細構造定数は、約 110 億年前の微細構造定数の値である。

これだけ遠くの光を測定するためには、世界最大級の望遠鏡を使用しなければならない。また QSO B1422+231 は重力レンズ現象により、複数の像に分かれて見えている。それぞれの像を個別に観測するためには、補償光学とよばれる装置を用いる必要がある。これらの条件を満たす望遠鏡/装置として、すばる望遠鏡と近赤外線分光器 IRD、補償光学装置 A0188 を使用することにした。

IRD には、レーザー周波数コムと呼ばれる装置が搭載されており、微細構造定数測定のための大きな誤差要因である波長校正の精度を大きく改善できる。レーザー周波数コムを用いると、天体スペクトルと同時に、多数のレーザーによる輝線スペクトルを得ることができる。それぞれの輝線スペクトルの波長はよくわかっている。よってレーザー周波数コムのスペクトルは、天体スペクトルに対する「物差し」のような形で使うことができる。その結果、波長校正の誤差を大きく改善することができる。本研究では IRD とレーザー周波数コムを用いて、QSO B1422+231 を観測し、110 億年前の微細構造定数を高い精度で測定することを目標にしていた。

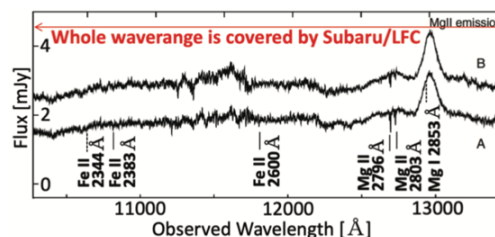


図 1. QSO B1422+231 の赤外線スペクトル。上下それぞれ、重力レンズ効果で分離された二つの像のスペクトルを表す。スペクトルの下に、赤方偏移 3.5 にある銀河間物質による吸収線(元素と実験室波長)を示す。(引用文献 2 より)

4. 研究成果

QSO B1422+231 の観測は実施できなかつた。上述したように、QSO B1422+231 は重力レンズを受けて、4つの像に分離されている。本研究のターゲットとなる、最も明るい2つの像は、0.5秒角程度しか離れていない。そのため、高い空間解像度で観測する必要がある。高い解像度を実現するためには、補償光学とレーザーガイド星システムが必要である。計画当初の予定では、2000年頃にすばる望遠鏡の新しいレーザーガイド星システムが完成し、観測を始められるはずであった。しかし新型コロナウイルスの感染拡大により、ハワイ観測所での実験も困難となり、開発に遅延が生じた。2023年4月の段階で、新しいレーザーガイド星システムは完成したものの、IRD と組み合わせた試験観測は行われていない。このような理由で、本事業の期間内に、QSO B1422+231 を観測することはできず、宇宙初期の微細構造定数の測定もかなわなかつた。

「(i) 約 110 年前の宇宙初期における微細構造定数の測定」を進めることができなかつたため、私たちは、「(ii) 巨大ブラックホール近くの強い重力場における微細構造定数の測定」を進めた。その成果を *Physical Review Letters* 誌に発表した(引用文献 3)。また太陽系近傍の天体と比較し、微細構造定数に変化が見えないという結果を得た。

銀河系の中心には、Sgr A* とよばれる巨大ブラックホールがある。Sgr A* の周囲には、ブラックホールを数 10 年から数 1000 年で周回する「S 星」とよばれる星が存在する。そのような星の中から、多数の元素の吸収線を示す低温の星を選び(図 2)、スペクトルを取得した。吸収線の波長は、星の運動(ドップラー効果)や一般相対論効果によって変化する。さらに巨大ブラックホールの重力により微細構造定数が変化するのであれば、吸収線の波長はさらに変化する。つまり S 星のスペクトルを取得し、吸収線の波長を正確に測定し、星の運動や一般相対論効果による波長変化と比較することで、微細構造定数の変化の有無を検証することができる。

私たちは銀河系の中心にある 5 つの星を観測し、それぞれの星に対して微細構造定数の変化を調べた。その結果、すべての星に対して、微細構造定数の変化はない、という結論を得た。それぞれの星に対する微細構造定数の変化率(微細構造定数の値に対する、変化の割合)への制限は、 10^{-5} から 10^{-4} の範囲であった。これらの結果を合わせて、強い重力場における微細構造定数に対して、

$$\Delta\alpha/\alpha = (1.0 \pm 5.8) \times 10^{-6}$$

という制限を加えることができた。ここで α は微細構造定数の値、 $\Delta\alpha$ は微細構造定数の変化を表す。このようにして私たちは、巨大ブラックホールの強い重力下における初めての微細構造定数の検証を行い、強い制限を与えることができた(引用文献 3)。

私たちはさらに、Sgr A* 近傍にある星を追加で観測した。また中心から離れており、太陽系に比較的近い天体 (δ Dra, BD-01) の観測も行い、微細構造定数の測定を行った。その結果を図 3 に示す。図 3 の横軸は銀河系中心からの距離である。obj 1~3 は、中心から約 4 光年にある天体である。 δ Dra 約 100 光年は、BD-01 は約 4000 光年にあると考えられている。

また図 3 の縦軸は、微細構造定数の変化の割合を示す。得られた値は全て、誤差の範囲で「変化はない」という結果になった。また微細構造定数の変化に対する制限は、数 $\times 10^{-4}$ 程度になった。得られた制限は、引用文献(2)よりも大きいものの、銀河系の中心から太陽系にかけて、微細構造定数の変化は、 10^{-4} の範囲ではみられない、という初めての結果が得られた。

<引用文献>

- (1) Webb, J. K., et al. 1999, *Phys. Rev. Lett.*, 82, 5
- (2) Hamano, S., et al. 2012, *The Astrophysical Journal*, 754, 88
- (3) Hees, A., et al. 2020, *Phys. Rev. Lett.*, 124, 81101

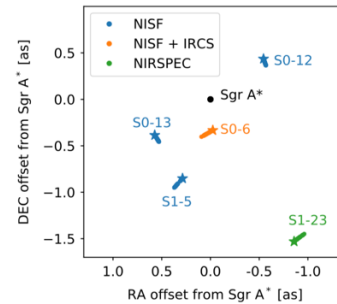


図 2. 銀河系の中心にある巨大ブラックホール Sgr A* と、微細構造定数の測定に用いた星。星の色は、測定された観測装置を表す。星の位置は 1995 年から 2018 年まで移動しており、2018 年の位置を星型で表す。縦軸、横軸の単位は as (秒角) であり、1 秒角は約 4000 天文単位である。

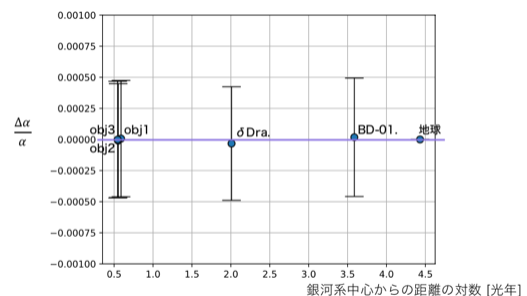


図 3 微細構造定数の変化と、銀河系の中心からの距離との関係。横軸は銀河系中心からの距離(対数)、縦軸は微細構造定数の変化を表す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 15件 / うちオープンアクセス 14件）

1. 著者名 Mawet Dimitri, Fitzgerald Michael P. et al.	4. 巻 12184
2. 論文標題 Fiber-fed high-resolution infrared spectroscopy at the diffraction limit with Keck-HISPEC and TMT-MODHIS: status update	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 id. 121841R
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2630142	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 Lozi Julien, Ahn Kyohoon, Clergeon Christophe, Deo Vincent, Guyon Olivier, Hattori Takashi, Minowa Yosuke, Nishiyama Shogo, Ono Yoshito, Vievard Sebastien	4. 巻 12184
2. 論文標題 A03000 at Subaru: combining for the first time a NIR WFS using First Light's C-RED ONE and ALPAO's 64x64 DM	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 id.1218533
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2630634	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 Vietri G., Misawa T., Piconcelli E., Franzetti P., Luminari A., Travascio A., Bischetti M., Bisogni S., Bongiorno A., Bruni G., Feruglio C., Giunta A., Nicastro F., Saccheo I., Testa V., Tombesi F., Vignali C., Zappacosta L., Fiore F.	4. 巻 668
2. 論文標題 The WISSH quasars project	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Astronomy and Astrophysics	6. 最初と最後の頁 A87 ~ A87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/202243285	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 Ishimoto Rikako, Kashikawa Nobunari, Kashino Daichi, Ito Kei, Liang Yongming, Cai Zheng, Yoshioka Takehiro, Okoshi Katsuya, Misawa Toru, Onoue Masafusa, Takeda Yoshihiro, Uchiyama Hisakazu	4. 巻 515
2. 論文標題 The physical origin for spatially large scatter of IGM opacity at the end of reionization: The IGM Ly α opacity-galaxy density relation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 5914 ~ 5926
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stac1972	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 Misawa Toru, Ishimoto Rikako, Kobu Satoshi, Kashikawa Nobunari, Okoshi Katsuya, Noboriguchi Akatoki, Schramm Malte, Liu Qiang	4. 巻 933
2. 論文標題 Exploratory Study of the Transverse Proximity Effect around BAL Quasars	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 239 ~ 239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac7715	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 Do, T.; Hees, A.; Chez, A.; et al.	4. 巻 528
2. 論文標題 Testing Fundamental Physics With Stellar Orbits at the Galactic Center	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Astronomical Society of the Pacific	6. 最初と最後の頁 249 ~ 254
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 Manuwal Aditya, Narayanan Anand, Udhvani Purvi, Srianand Raghunathan, Savage Blair D, Charlton Jane C, Misawa Toru	4. 巻 505
2. 論文標題 The COS-legacy survey of CIV absorbers: properties and origins of the intervening systems	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3635 ~ 3654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1556	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 Saez C, Brandt W N, Bauer F E, Chartas G, Misawa T, Hamann F, Gallagher S C	4. 巻 506
2. 論文標題 The X-rays wind connection in PG 2112+059	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 343 ~ 356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stab1706	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 Okoshi Katsuya, Minowa Yosuke, Kashikawa Nobunari, Misawa Toru, Kashino Daichi, Sugai Hajime, Matsubayashi Kazuya, Shimono Atsushi, Ozaki Shinobu	4. 巻 162
2. 論文標題 Multiple Mg ii Absorption Systems in the Lines of Sight to Quadruply Lensed Quasar H1413+1143	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 175 ~ 175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ac0bbb	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 Ishita Dai, Misawa Toru, Itoh Daisuke, Charlton Jane C., Eracleous Michael	4. 巻 921
2. 論文標題 MCMC-based Voigt Profile Fitting to a Mini-BAL System in the Quasar UM 675* †	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 119 ~ 119
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac14b4	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 Horiuchi, Takashi; Morokuma, Tomoki; Misawa, Toru; Hanayama, Hidekazu; Kawaguchi, Toshihiro	4. 巻 159
2. 論文標題 A Comparison of Properties of Quasars with and without Rapid Broad Absorption Line Variability	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 237
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/ab83f5	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 Itoh, Daisuke; Misawa, Toru; Horiuchi, Takashi; Aoki, Kentaro Abstract	4. 巻 499
2. 論文標題 Search for intrinsic NALs in BAL/mini-BAL quasar spectra	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 3094-3110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2793	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 Sameshima, Hiroaki; Yoshii, Yuzuru; Matsunaga, Noriyuki; Kobayashi, Naoto; Ikeda, Yuji; Kondo, Sohei; Hamano, Satoshi; Mizumoto, Misaaki; Arai, Akira; Yasui, Chikako; Fukue, Kei; Kawakita, Hideyo; Otsubo, Shogo; Bono, Giuseppe; Saviane, Ivo	4. 巻 904
2. 論文標題 Mg II and Fe II Fluxes of Luminous Quasars at $z \sim 2.7$ and the Evaluation of the Baldwin Effect in the Flux-to-abundance Conversion Method for Quasars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 162
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abc33b	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 Jian, Mingjie; Taniguchi, Daisuke; Matsunaga, Noriyuki; Kobayashi, Naoto; Ikeda, Yuji; Yasui, Chikako; Kondo, Sohei; Sameshima, Hiroaki; Hamano, Satoshi; Fukue, Kei; Arai, Akira; Otsubo, Shogo; Kawakita, Hideyo	4. 巻 494
2. 論文標題 The effect of surface gravity on line-depth ratios in the wavelength range 0.97-1.32 μm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 1724-1734
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa834	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 西山正吾	4. 巻 114
2. 論文標題 Andrea Ghez教授と巨大ブラックホール：ノーベル物理学賞受賞によせて	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 天文月報	6. 最初と最後の頁 12-15
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 A. Hees, T. Do, B. M. Roberts, A. M. Ghez, S. Nishiyama, R. O. Bentley, A. K. Gautam, S. Jia, T. Kara, J. R. Lu, H. Saida, S. Sakai, M. Takahashi, and Y. Takamori	4. 巻 124
2. 論文標題 Search for a Variation of the Fine Structure Constant around the Supermassive Black Hole in Our Galactic Center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 81101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.081101	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 Saida, H.; Nishiyama, S.; Ohgami, T.; Takamori, Y.; Takahashi, M.; Minowa, Y.; Najarro, F.; Hamano, S.; Omiya, M.; Iwamatsu, A.; Takahashi, M.; Gorin, H.; Kara, T.; Koyama, A.; Ohashi, Y.; Tamura, M.; Nagatomo, S.; Zenko, T.; Nagata, T.	4. 巻 71
2. 論文標題 A significant feature in the general relativistic time evolution of the redshift of photons coming from a star orbiting Sgr A*	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 id. 126
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz111	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 Chris Culliton, Jane Charlton, Mike Eracleous, Rajib Ganguly, Toru Misawa	4. 巻 488
2. 論文標題 Probing quasar winds using intrinsic narrow absorption lines	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4690-4731
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1642	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 Takuya Inoue, Eiichiro Komatsu, Wako Aoki, Takeshi Chiba, Toru Misawa, Tomonori Usuda	4. 巻 72
2. 論文標題 The effect of our local motion on the Sandage-Loeb test of the cosmic expansion	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 id. L1
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz131	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 Hamano Satoshi, Kawakita Hideyo, Kobayashi Naoto, Takenaka Keiichi, Ikeda Yuji, Matsunaga Noriyuki, Kondo Sohei, Sameshima Hiroaki, Fukue Kei, Yasui Chikako, Mizumoto Misaki, Otsubo Shogo, Watase Ayaka, Yoshikawa Tomohiro, Kobayashi Hitomi	4. 巻 881
2. 論文標題 First Detection of A-X (0,0) Bands of Interstellar C2 and CN	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id. 143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2e0f	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 T. Kotani, M. Tamura, J. Nishikawa, A. Ueda, M. Kuzuhara, M. Omiya, J. Hashimoto, M. Ishizuka, T. Hirano, H. Suto, T. Kurokawa, T. Kokubo, T. Mori, Y. Tanaka, K. Kashiwagi, M. Konishi, T. Kudo, B. Sato, S. Jacobson, K. W. Hodapp, D. B. Hall, W. Aoki, T. Usuda, S. Nishiyama, et al.	4. 巻 10702
2. 論文標題 The infrared Doppler (IRD) instrument for the Subaru telescope: instrument description and commissioning results	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the SPIE	6. 最初と最後の頁 id.1070211
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1117/12.2311836	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 Sameshima, H., Matsunaga, N., Kobayashi, N., Kawakita, H., Hamano, S., Ikeda, Y., Kondo, S., Fukue, K., Taniguchi, D., Mizumoto, M., Arai, A., Otsubo, S., Takenaka, K., Watase, A., Asano, A., Yasui, C., Izumi, N., Yoshikawa, T.	4. 巻 989
2. 論文標題 Correction of Near-infrared High-resolution Spectra for Telluric Absorption at 0.90-1.35 μm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of the Pacific	6. 最初と最後の頁 pp.074502
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1538-3873/aac1b4	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 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 An Old Star Very Close to the Galactic Supermassive Black Hole
3. 学会等名 Subaru Users Meeting FY2021 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 Nuclear Star Cluster and Hidden Clusters at the Galactic Center
3. 学会等名 JASMINE Consortium Meeting 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 星の近赤外線スペクトルを用いた、強重力環境における物理法則の検証
3. 学会等名 第26回天体スペクトル研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉原実祈、西山正吾
2. 発表標題 KバンドのLine Depth Ratioを用いた晩期型巨星の有効温度の決定
3. 学会等名 第26回天体スペクトル研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 銀河系の中心にある大質量コンパクト天体の発見
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 近赤外線観測による銀河系中心領域の研究
3. 学会等名 天の川銀河研究会2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shogo Nishiyama
2. 発表標題 Metallicity of late-type stars very close to the Galactic supermassive black hole
3. 学会等名 New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 銀河系中心核バルジの隠れた星団の探索
3. 学会等名 JASMINE Consortium Kick-off Meeting
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 近赤外線広視野観測による銀河系バルジの研究
3. 学会等名 (近)赤外線広視野サイエンスワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山正吾
2. 発表標題 巨大ブラックホールを周回する星を用いた、ブラックホール重力場における相対論効果の検出
3. 学会等名 「超巨大ブラックホール研究推進連絡会」第6回ワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 T. Misawa, M. Eracleous, J. C. Charlton, N. Kashikawa, C. Saez, G. Chartas, F. E. Bauer, N. Inada, H. Uchiyama
2. 発表標題 Properties of Narrow Absorption Line Systems in AGN Outflow
3. 学会等名 Subaru 20th Anniversary (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱野哲史
2. 発表標題 Diffuse Interstellar Bands: Cosmic Shadow of Interstellar Molecules
3. 学会等名 Cosmic Shadow 2018 -クエーサー吸収線系でみる宇宙-
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱野哲史
2. 発表標題 WINERED: Current status, Problems & Upcoming Updates
3. 学会等名 WINERED研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱野哲史, 近藤莊平, 鯨島寛明, 福江慧, 新井彰, 河北秀世, 大坪翔悟, 竹中慶一, 渡瀬彩華, 池田優二, 小林尚人, 松永典之, 安井千香子
2. 発表標題 近赤外線高分散分光器WINERED: データ解析パイプラインの開発
3. 学会等名 日本天文学会2019年春季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 青木和光 他(編), 西山正吾(分担執筆)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 自然科学研究機構国立天文台	5. 総ページ数 92
3. 書名 すばる望遠鏡とTMTが結ぶ新たな宇宙像	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Constants Still Constant Near Black Holes https://physics.aps.org/articles/v13/s28
--

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
研究協力者	岩松 篤史 (IWAMATSU Atsushi)		
研究協力者	孝森 洋介 (TAKAMORI Yosuke)		
研究協力者	斉田 浩見 (SAIDA Hiromi)		

6. 研究組織（つづき）

	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
研究協力者	三澤 透 (MISAWA Toru)		
研究協力者	長田 哲也 (NAGATA Tetsuya)		
研究協力者	濱野 哲史 (HAMANO Satoshi)		

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