

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K03696

研究課題名（和文）ハッブル宇宙望遠鏡による次世代赤外標準星ネットワークの構築

研究課題名（英文）Establishing Next Generation UV-Opt-IR Standard Star Network with Hubble Space Telescope

研究代表者

鈴木 尚孝（Suzuki, Naotaka）

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・客員准科学研究员

研究者番号：20722804

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙を観測するにあたって、最も基礎となる概念は正確な測光である。従来は、水素大気を仮定したシンプルな大気モデルを構築できる白色矮星を観測し、モデルを真と仮定して、1%の測光精度を達成してきた。しかしながら、遠方の超新星を使い、宇宙加速膨張の原因となる暗黒エネルギーを5%よりも精度高く測定するには、精度を0.5%以下に抑制する必要がある、新たな基準星ネットワークを築くことが必要となった。我々は、黒体輻射スペクトルと同じスペクトルを持つ、大気モデルに依拠しない白色矮星を新たに探し出すことに成功し、最も有望な星々をハッブル宇宙望遠鏡で観測し、紫外から可視、赤外に至る標準星ネットワークの構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

標準星ネットワークの構築は、宇宙の観測において最も基本となる測光の礎である。従来の精度をさらに上げることにより、精密な遠方超新星の測定が可能となり、減速膨張から加速膨張に転じた、宇宙の膨張史を探ることができる。加速膨張の原因となる暗黒エネルギーの振る舞いを正確に知ることが現代物理学上、最も大きな課題となっている。これまで宇宙定数と考えられてきたものが、時間変化の兆候が最新のデータでは確認されており、より精密な測定は必須となった。我々が発見した黒体輻射と同じスペクトルを持つ標準星は、紫外、可視、赤外の測光を正確にすることが可能であり、汎用性が高く、さまざまな機器の較正に応用できる。

研究成果の概要（英文）：One of the most fundamental properties of the astronomical observation is photometry. In the past, white dwarf whose spectrum can be modeled by pure-hydrogen model was used.

However, today, to achieve the 5% accuracy of dark energy which is responsible for the dark energy, we need to reduce the photometric error down to 0.5%. We are in need of establishing a new standard star network which does not depend on the model. We found stars whose spectra matches blackbody radiation and do not depend on the model. We have observed the most promising ones with the Hubble Space Telescope, and we could establish a new network of standard star from UV, Visible to IR.

研究分野：観測的宇宙論

キーワード：暗黒エネルギー 白色矮星 黒体輻射 標準星 測光精度 ハッブル宇宙望遠鏡 超新星 宇宙定数

1. 研究開始当初の背景

宇宙物理学上の観測で最も基礎となる観測量は、星や銀河の明るさの測定である。天文学は、基本単位が等級、すなわちマグニチュードで表されるように、数字の桁を検証する学問であった。最新の精密宇宙論的観測では、測定精度が格段に向上し誤差1%以下の精度が求められるような時代に突入した。逆に言うと、宇宙論パラメータの測定精度は、統計的誤差すなわち天体の数ではなく系統誤差と呼ばれる測光精度で制限されてしまっている。この系統誤差は厄介者で、広い領域、たくさんの天体を観測しても小さくならない。系統誤差を小さくする唯一の方法は、基礎となる測光精度を上げるのみであり。加速膨張している宇宙の歴史及び運命を決める重要なパラメータを正確に知るにはこの系統誤差の縮減が急務である。

近年、これまでの物理の基礎となる基本的な単位は、精密な実験や厳密な検証を経て、新しいものに置き換えられてきた。例えば、長さの基礎となる1メートルは、地球の円周の400万分の1と1881年に定められ、フランスパリにあるメートル原器がこれまで使われてきたが、形あるものは経年変化してしまう運命は避けられず、1983年に光速が299792648分の1秒間に進む距離と再定義された。同様にして1889年に定められたキログラム原器も2018年にプランク定数による定義に置き換えられた。

その一方で、明るさの単位とその定義は極めて脆弱であり、精度が伴っていない。1889年にルクスが定義され、ルーメン、カンデラが追加され、カンデラの定義の改訂が行われてきたが、現在の定義は上記の基本的な物理定数と紐付けられていない。米国ではNIST、日本では産業技術研究所が基準となるスペクトルを持っているが、波長領域が赤外になると1%の精度はない。天体物理学の世界では、ハッブル宇宙望遠鏡によって観測された白色矮星のデータとそのモデルが基準となっているが、現時点での誤差は約1%である。このような背景の下、より精密な明るさの基準を定める必要性から、本研究を提案した次第である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、星の明るさの測定、すなわち測光の基準となる標準星のネットワークを紫外線から、可視、赤外にわたる多波長にわたって1%以下の精度で正確に求めることである。従来は、白色矮星モデルで観測されたスペクトルを較正し、このスペクトルで各波長帯の測光基準としていた。ところが、現時点で白色矮星モデルには不定性があり、1%以下の誤差でモデル化されたものは存在せず、また同じ星を違うグループがモデル化するとその違いが赤外線領域で特に顕著に現れ、5-10%の相違が報告されている。

現在、宇宙の加速膨張を起こしている謎の暗黒エネルギーの精密観測は爆発時の光度が一定であるIa型超新星が距離指標として使われている。暗黒エネルギーの発見からこれまでの20年間は、真空のエネルギーもしくは宇宙定数が暗黒エネルギーの正体であり、宇宙の進化による時間変化はないと考えられてきた。驚くべきことに、最新の観測結果は宇宙加速膨張の変化を示しはじめ、宇宙定数であることが 3σ で否定された。現代物理学上、最も重要な観測結果と言っても過言ではない。謎の暗黒エネルギーの正体を突き止めることが急務であり、より精度の高い観測が求められている。

我々は、米国ハワイ島マウナケア山頂にあるすばる望遠鏡に搭載された広域撮像装置(Hyper-Suprime Cam)を使って遠方の超新星を観測し、過去20年間に蓄積されたデータを凌駕するデータを取得することができた。しかしながら、精密に暗黒エネルギーのパラメータを測定し、その正体が真空のエネルギーもしくは宇宙定数であるかどうかを求めるには、光度の較正を、誤差0.5%以下の精度で収めなければならない。従来の誤差は1%であり到達することができない。また、遠方の超新星を観測すると、静止系で紫外領域にある波長が赤方偏移によって観測されることになり、さらに遠方の超新星は赤外領域に赤方偏移する。

紫外領域、赤外領域の較正精度は可視領域に比べ、歴史的に精度が低い。我々は、紫外、可視、赤外という

多波長領域において、誤差1%以下の精度で較正できる標準星ネットワークを構築することが研究の目的である。これによって、幅広い分野で精度の向上が期待できる。特に暗黒エネルギーの系統誤差の縮減に寄与することができる。

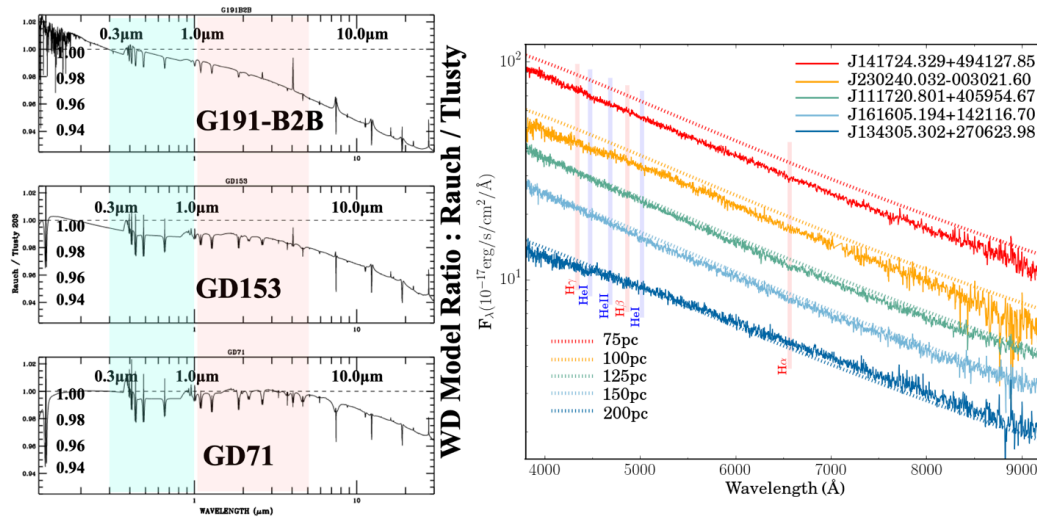


Figure1 左図: Bohlin, Gordon & Tremblay 2014 からの引用。白色矮星モデルの比較がされており、可視領域では 1-2% の違いが赤外領域では 5-7% になっている。右図: 5つの Blackbody Star のスペクトル例。水素を示すバルマー系列の吸収線やヘリウム吸収線が全く見えない。このようなスペクトルをよりたくさん集め、精密な測定を行うのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

これまで光度の較正には、3つの白色矮星 (GD71, GD153, G191B2B) に純粋水素モデルを適用し、フラックスをモデルに合うように応答関数を求め較正してきた。この従来の手法には大きな問題点が2つある。まず第一点は、星の大気は複雑であり、純粋水素モデルはあくまでも近似値であって、純粋水素で白色矮星ができていない証拠はない。そして、複数の人々によってモデルが作られているが、互いに一致していないことが知られている。特に赤外領域での不一致は顕著で、誰のモデルを使うかによって、その差が10%にも及ぶ (Bohlin et al. 2014 PASP, 126, 711)。最新のモデル更新で、この差は縮小しつつあるが、紫外と赤外領域では 2-4% の差が見られる。どのモデルを採用するかによってこの系統誤差が生じてしまうことを忘れてはならない。問題の2つ目は、「鶏が先か、卵が先か」の概念の問題である。モデルは観測データによって、モデルパラメータが求められ、観測データはモデルによって較正されている。この無限ループを脱しない限り、精密な較正は不可能であることに気づかねばならない。

我々は、全く新しい手法で、これまでの問題点を解決し、より精密な標準星の較正を提案する。Slon Digital Sky Survey (SDSS) で 20年の長期にわたる観測で、蓄積されてた約 100万個のスペクトルの中から、偶然にも高い精度で多波長にわたり黒体輻射スペクトルと合致するものを探し出した。黒体輻射スペクトルは、温度 T の一つのパラメータのみで形が決まる物理量で、不定性は皆無である。紫外線衛星 GALEX と赤外線衛星 WISE のデータから、多波長にわたって、黒体輻射であることを確かめた。理論的には、温度の低いヘリウム白色矮星で、ヘリウムの吸収線が現れるには温度が低く、水素線が現れるには高いという絶妙な温度帯であることがわかった。この黒体輻射と同じスペクトルを持つ星々 (blackbody stars) を使って標準星ネットワークを築くことが本研究の方法である。

4. 研究成果

我々は、2つの大きな成果を達成することができた。第一に、ハッブル宇宙望遠鏡を使った精密な測光とスペクトルの取得。第二に GAIA 衛星を使ったより多くの黒体放射星の発見である。以下それぞれの成果について、記述する。

成果1：ハッブル宇宙望遠鏡による観測紫外線、赤外線領域は地上からでは観測できない。よって宇宙望遠鏡を使う必要がある。ハッブル宇宙望遠鏡に観測時間を申請し、観測時間を得ることができた。当初は半年おきの観測をして、年周視差を観測し距離を求める予定であったが、望遠鏡のジャイロの故障により、観測が予定通りに進まず、この部分は断念した。黒体放射候補天体の中で、より優れた7つの星について、紫外線、可視、赤外の多波長にわたってハッブル宇宙望遠鏡で、測光とスペクトルを得ることができた。多波長にわたって黒体放射スペクトルと合致していることを確かめることができ、より精密な光度（等級）を求めることができた。

成果2：新たな黒体放射星の発見本研究期間中に欧州宇宙機構 (ESA) の衛星、GAIA のデータが公開された。18億個の星々の正確な距離のデータは、各方面、特に我々の天の川銀河の進化の解明の分野で革命的な成果を挙げている。本研究においても、星の距離からその明るさを正確に測定することにより、星々の半径を1%以下の誤差で測定することに成功した。さらに、精度が上がることを期待される。我々の黒体放射スペクトルを持つ星は、距離と温度が分れば、物理の第一原理から精密に明るさを知ることができる。大気モデルに依拠しないところが最大の強みでもある。

GAIA DR3 では、低分散ではあるが、XP スペクトルも公開された。これが意味するところは、SDSS では観測されなかった星や、南半球の星々の中から黒体放射スペクトルを持つ Blackbody Star 候補を見つけることができる。我々は、18億個の星々の中から、514個の候補天体を見つけ多波長帯のデータと総合し、200個ほどの候補に絞り込み、分光観測を行った。南半球ではチリにある欧州の口径8mのVLT望遠鏡と米国の口径4mのSOAR望遠鏡の観測時間を確保し観測を行った。北半球では、米国の口径10mのKeck望遠鏡と口径3mのリック望遠鏡の観測時間を獲得し、30晩近くかけて、200天体以上の分光スペクトルを集めた。あいにく半数以上の観測夜が、長く続いた嵐の影響で天候が優れず観測できなかった。現在計画の完遂のために追観測を続けているところである。

現在新たに43個の星が新たに黒体放射スペクトル天体、Blackbody 天体として分光観測で確認されている。桁としては、1億個の星に約1個見つかる確率である。この貴重な星から標準星ネットワークを築くことが可能となり、JWSTをはじめとする赤外観測宇宙望遠鏡でその観測基盤を提供することができる。最大の成果である。

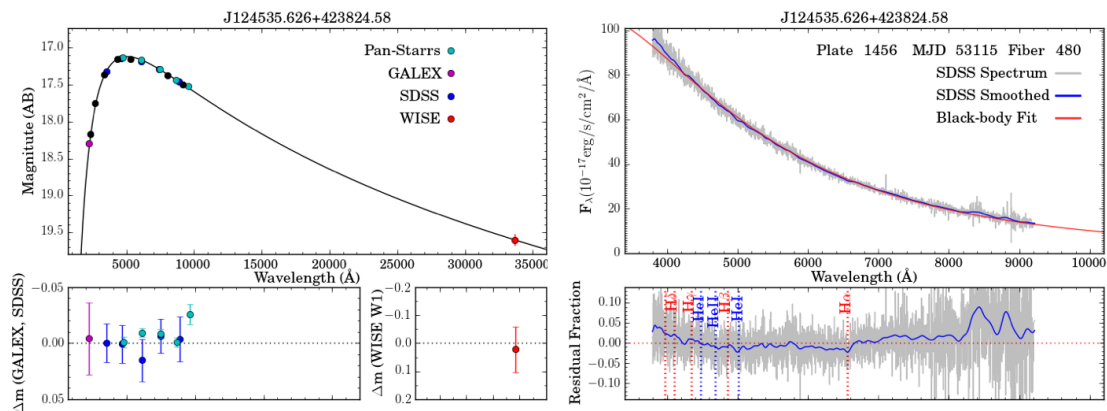


Figure2 黒体放射スペクトルを持つ Blackbody Star の例 WD J1245+4238. 左図: 黒体放射スペクトルで紫外、可視、赤外の測光データをフィットした図。とても良い精度で一致している。右図: 可視スペクトル。吸収線が何も見えない。黒体放射スペクトルである。

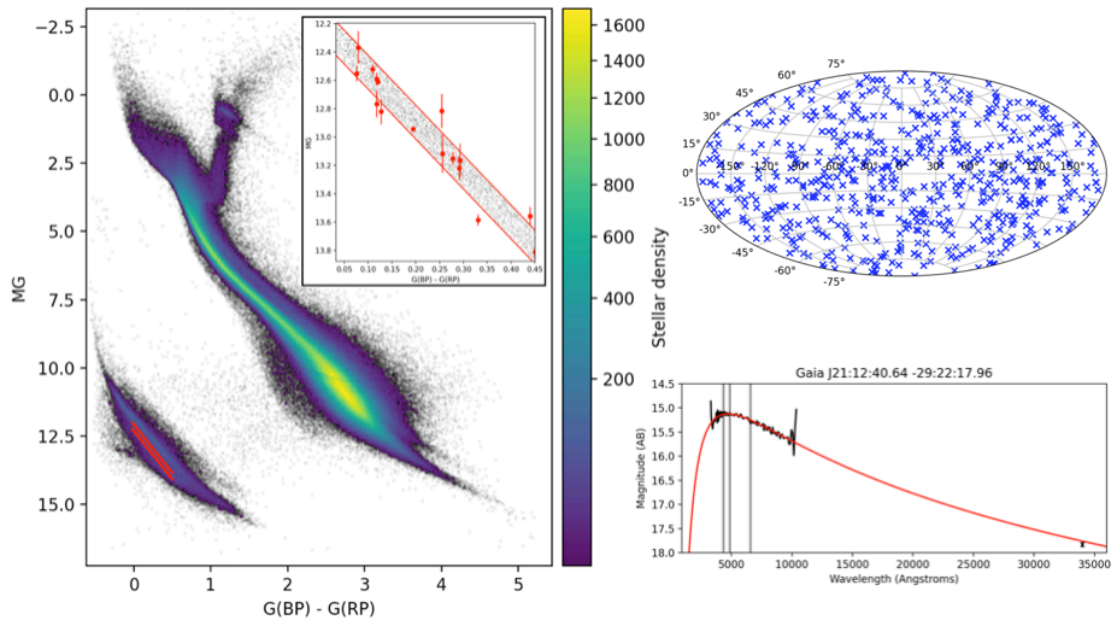


Figure3 左図: Gaia 衛星による HR 図 (220pc 以内にある星)。Blackbody スペクトル候補天体は、図左下の部分に分布している。ここから天体を絞り込んでいく。右図上: Blackbody 候補天体の全天分布図。GAIA 衛星によってこれまで観測されてこなかった天体、特に南半球の天体の分布を知ることができた。右図下: 候補天体の絞り込みの様子。Gaia BP/RP スペクトル (黒線) WISE W1 測光 (黒点)。スペクトルが黒体輻射に一致していることを可視から赤外までのデータを使って確かめ、分光観測に送っている

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 26件／うち国際共著 28件／うちオープンアクセス 28件）

1. 著者名 Aldoroty L., Wang L., Hoeflich P., Yang J., Suntzeff N., Perlmutter S., Ponder K. A., Rabinowitz D., Rigault M., Rubin D., Runge K., Saunders C., Smadja G., Suzuki N. et al.	4. 巻 948
2. 論文標題 Bump Morphology of the CMAGIC Diagram	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 10～10
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/acad78	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 Horowitz Benjamin, Lee Khee-Gan, Ata Metin, Meller Thomas, Krolewski Alex, Prochaska J. Xavier, Hennawi Joseph F., White Martin, Schlegel David, Rich R. Michael, Nugent Peter E., Suzuki Nao, Kashino Daichi, Koekemoer Anton M., Lemaux Brian C.	4. 巻 263
2. 論文標題 Second Data Release of the COSMOS Ly Mapping and Tomography Observations: The First 3D Maps of the Detailed Cosmic Web at $2.05 < z < 2.55$	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 27～27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4365/ac982d	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 Rubin David, Aldering G., Antilogus P., Aragon C., Bailey S., Baltay C., Bongard S., Boone K., Buton C., Copin Y., Dixon S., Fouchez D., Gangler E., Gupta R., Hayden B., Hillebrandt W., Kim A. G., Kowalski M., Nordin J., Pain R., Perlmutter S., Suzuki N. et al.	4. 巻 263
2. 論文標題 Uniform Recalibration of Common Spectrophotometry Standard Stars onto the CALSPEC System Using the SuperNova Integral Field Spectrograph	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 1～1
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4365/ac7b7f	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 Radovan Matthew V., Bertz Robert, Cooke Jeff, Dekany Richard, Delacroix Alex, Fucik Jason R., Gillingham Peter R., Krishnan Shanti, Poole Gregory, Seikel Ray, Smith Roger, Suzuki Nao, Travouillon Tony	4. 巻 12184
2. 論文標題 Conceptual design of the Keck Wide Field Imager (KWFI)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 SPIE	6. 最初と最後の頁 20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1117/12.2630502	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 Stein George, Seljak Uros, Aldering G., Bongard S., Boone K., Buton C., Karmen M., Kim A. G., Kowalski M., Kesters D., Leget P.-F., Mondon F., Nordin J., Pain R., Pecontal E., Pereira R., Perlmutter S., Ponder K. A., Rigault M., Rubin D., Saunders C., Smadja G., Suzuki N. et al.	4. 巻 935
2. 論文標題 A Probabilistic Autoencoder for Type Ia Supernova Spectral Time Series	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 5~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac7c08	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 Jiang Ji-an, Yasuda Naoki, Maeda Keiichi, Tominaga Nozomu, Doi Mamoru, Yoachim Peter, Uno Kohki, Moriya Takashi J., Kumar Brajesh, Pan Yen-Chen, Tanaka Masayuki, Tanaka Masaomi, Nomoto Ken'ichi, Jha Saurabh W., Ruiz-Lapuente Pilar, Jones David, Shigeyama Toshikazu, Suzuki Nao et al.	4. 巻 933
2. 論文標題 MUSSES2020J: The Earliest Discovery of a Fast Blue Ultraluminous Transient at Redshift 1.063	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L36~L36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/ac7390	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 Aihara Hiroaki, AlSayyad Yusra, Ando Makoto, Armstrong Robert, Bosch James, Lupton Robert H, Lust Nate B, MacArthur Lauren A, Mawatari Ken, Suzuki Nao et al.	4. 巻 74
2. 論文標題 Third data release of the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 247~272
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psab122	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 Moriya Takashi J., Jiang Ji-an, Yasuda Naoki, Kokubo Mitsuru, Kawana Kojiro, Maeda Keiichi, Pan Yen-Chen, Quimby Robert M., Suzuki Nao, Takahashi Ichiro, Tanaka Masaomi, Tominaga Nozomu, Nomoto Ken'ichi, Cooke Jeff, Galbany Lluís, Gonzalez-Gaitin Santiago, Lee Chien-Hsiu, Pignata Giuliano	4. 巻 908
2. 論文標題 Constraints on the Rate of Supernovae Lasting for More Than a Year from Subaru/Hyper Suprime-Cam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abcf0	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 Boone K., Aldering G., Antilogus P., Aragon C., Bailey S et al.	4. 巻 912
2. 論文標題 The Twins Embedding of Type Ia Supernovae. I. The Diversity of Spectra at Maximum Light	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 70
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abec3c	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 Boone K., Aldering G., Antilogus P., Aragon C., Bailey S. et al.	4. 巻 912
2. 論文標題 The Twins Embedding of Type Ia Supernovae. II. Improving Cosmological Distance Estimates	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 71 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abec3b	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 Hayden Brian, Rubin David, Boone Kyle et al.	4. 巻 912
2. 論文標題 The HST See Change Program. I. Survey Design, Pipeline, and Supernova Discoveries*	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abed4d	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 Nagamine Kentaro, Shimizu Ikkoh, Fujita Katsumi, Suzuki Nao, Lee Khee-Gan, Momose Rieko, Mukae Shiro, Liang Yongming, Kashikawa Nobunari, Ouchi Masami, Silverman John D.	4. 巻 914
2. 論文標題 Probing Feedback via IGM tomography and the Ly Forest with Subaru PFS, TMT/ELT, and JWST	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 66
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abfa16	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 Tang S., Silverman J. D., Ding X., Li J., Lee Khee-Gan, Strauss M. A. et al.	4. 巻 922
2. 論文標題 Optical Spectroscopy of Dual Quasar Candidates from the Subaru HSC-SSP program	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac1ff0	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 Rose, B. M., Baltay, C., Hounsell, R., Macias, P., Rubin, D., Scolnic, D et al.	4. 巻 2111.03081
2. 論文標題 A Reference Survey for Supernova Cosmology with the Nancy Grace Roman Space Telescope	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 arxiv	6. 最初と最後の頁 3081
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 該当する

1. 著者名 Takahashi Ichiro, Suzuki Nao, Yasuda Naoki, Kimura Akisato, Ueda Naonori, Tanaka Masaomi, Tominaga Nozomu, Yoshida Naoki	4. 巻 72
2. 論文標題 Photometric classification of Hyper Suprime-Cam transients using machine learning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa082	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 Silverman J., Tang S., Lee K. G., Hartwig T. and 29 coauthors including Suzuki, Nao	4. 巻 899
2. 論文標題 Dual Supermassive Black Holes at Close Separation Revealed by the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 154
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aba4a3	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 Mukae S., Ouchi M., Cai Z., Lee K-G., and 20 coauthors including Suzuki, Nao	4. 巻 896
2. 論文標題 Three-dimensional Distribution Map of H i Gas and Galaxies around an Enormous Ly Nebula and Three QSOs at z = 2.3 Revealed by the H i Tomographic Mapping Technique	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab8db7	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 Aldering G., Antilogus P., Aragon C. and 41 coauthors including Suzuki, Nao	4. 巻 4
2. 論文標題 The SNEMO and SUGAR Companion Data Sets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Research Notes of the AAS	6. 最初と最後の頁 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2515-5172/ab8fa5	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 該当する

1. 著者名 Rigault M., Brinnet V., Aldering G., Antilogus P. and 39 coauthors including Suzuki, Nao	4. 巻 644
2. 論文標題 Strong dependence of Type Ia supernova standardization on the local specific star formation rate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 176
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201730404	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 Moriya Takashi J., Jiang Ji-an, Yasuda Naoki, Kokubo Mitsuru, Kawana Kojiro, Maeda Keiichi, Pan Yen-Chen, Quimby Robert M., Suzuki Nao, Takahashi Ichiro, Tanaka Masaomi, Tominaga Nozomu, Nomoto Ken'ichi, Cooke Jeff, Galbany Lluís, Gonzalez-Gaitan Santiago, Lee Chien-Hsiu, Pignata Giuliano	4. 巻 908
2. 論文標題 Constraints on the Rate of Supernovae Lasting for More Than a Year from Subaru/Hyper Suprime-Cam	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abcf0	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 Jiang Ji-an, Yasuda Naoki, Maeda Keiichi, Doi Mamoru, Shigeyama Toshikazu, Tominaga Nozomu, Tanaka Masaomi, Moriya Takashi J., Takahashi Ichiro, Suzuki Nao, Morokuma Tomoki, Nomoto Ken'ichi	4. 巻 892
2. 論文標題 The HSC-SSP Transient Survey: Implications from Early Photometry and Rise Time of Normal Type Ia Supernovae	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 25 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab76cb	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 Yasuda Naoki, Tanaka Masaomi, Tominaga Nozomu, Jiang Ji-an, Moriya Takashi J, Morokuma Tomoki, Suzuki Nao, Takahashi Ichiro, Yamaguchi Masaki S, Maeda Keiichi, Sako Masao, Ikeda Shiro, Kimura Akisato, Morii Mikio, Ueda Naonori, Yoshida Naoki, Lee Chien-Hsiu, Suyu Sherry H, Komiyama Yutaka, Regnault Nicolas, Rubin David	4. 巻 71
2. 論文標題 The Hyper Suprime-Cam SSP transient survey in COSMOS: Overview	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 74-91
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz050	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 Moriya T. J., Tanaka M., Yasuda N., Jiang J., Lee C.-H., Maeda K., Morokuma T., Nomoto K., Quimby R. M., Suzuki Nao, Takahashi I., Tanaka M., Tominaga N., Yamaguchi M., Bernard St. R., Cooke J., Curtin C., Galbany L., Gonzalez-Gaitn S., Pignata G., Pritchard T., Komiyama Y., Lupton R. H.	4. 巻 241
2. 論文標題 First Release of High-Redshift Superluminous Supernovae from the Subaru High-Z SUpernova CAmpaign (SHIZUCA). I. Photometric Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 16 ~ 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ab07c5	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 Curtin C, Cooke J, Moriya T. J., Tanaka M, Quimby R. M., Bernard S. R., Galbany L., Jiang J., Lee C.-H., Maeda K., Morokuma T., Nomoto K., Pignata G., Pritchard T., Suzuki Nao, Takahashi I., Tanaka M., Tominaga N., Yamaguchi M., Yasuda N.	4. 巻 241
2. 論文標題 First Release of High-redshift Superluminous Supernovae from the Subaru High-Z SUpernova CAmpaign (SHIZUCA). II. Spectroscopic Properties	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Supplement Series	6. 最初と最後の頁 17 ~ 31
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4365/ab07c8	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 Moriya T. J., Tanaka M., Morokuma T., Pan Y.-C., Quimby R. M., Jiang J., Kawana K., Maeda K., Nomoto K., Suzuki Nao, Takahashi I., Tanaka M., Tominaga N., Yamaguchi M., Yasuda N., Cooke J., Curtin C., Galbany L., Gonzalez-G. S., Lee C.-H., Pignata G., Pritchard T.	4. 巻 882
2. 論文標題 HSC16aayt: A Slowly Evolving Interacting Transient Rising for More than 100 Days	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 70 ~ 81
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab2f80	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 Tampo Yusuke, Tanaka Masaomi, Maeda Keiichi, Yasuda Naoki, Tominaga Nozomu, Jiang Ji-an, Moriya Takashi J., Morokuma Tomoki, Suzuki Nao, Takahashi Ichiro, Kokubo Mitsuru, Kawana Kojiro	4. 巻 894
2. 論文標題 Rapidly Evolving Transients from the Hyper Suprime-Cam SSP Transient Survey	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 27 ~ 46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab7ccc	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 Leget P.-F., Gangler E., Mondon F., and 41 coauthors in alphabetical order including Suzuki, Nao	4. 巻 636
2. 論文標題 SUGAR: An improved empirical model of Type Ia supernovae based on spectral features	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Astronomy & Astrophysics	6. 最初と最後の頁 46 ~ 71
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1051/0004-6361/201834954	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 Suzuki Nao, Fukugita Masataka	4. 巻 156
2. 論文標題 Blackbody Stars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astronomical Journal	6. 最初と最後の頁 219 ~ 219
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-3881/aac88b	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7件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 Modeling the Diversity of Transient Light Curves through PCA
3. 学会等名 Exploring the Transient Universe with the Nancy Grace Roman Space Telescope (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 Searching for Close Binary System in Milky Way Galaxy as Potential Gravitational Wave Sources
3. 学会等名 Gravitational wave physics and astronomy: Genesis (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 Reducing Systematic Errors for SNIa Cosmology (Blackbody Stars)
3. 学会等名 SCAM-2019: SNIa-Cosmology Analysis Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 HSC SNIa Cosmology Program
3. 学会等名 Subaru 20th Anniversary Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 Time Domain Science in the Era of ELTs
3. 学会等名 Extremely Big Eyes on the Early Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 HSC Transient Survey
3. 学会等名 Enabling Multi-Messenger Astrophysics in the Big Data Era (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Suzuki, Nao
2. 発表標題 Perfect Blackbody Spectra for Next Generation UV-Opt-IR Calibration Standard Star Network
3. 学会等名 International Astronomical Union (国際学会)
4. 発表年 2018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
---------	---------