

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H01101

研究課題名(和文) 超金属欠乏星の観測と大規模シミュレーションによる銀河初代星の起源の解明

研究課題名(英文) Origin of Galactic First Generation Stars Based on Both Observations and Simulations of Very Metal-Poor Stars

研究代表者

千葉 柁司 (CHIBA, MASASHI)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：50217246

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,400,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙で最初に生まれた星はどのように形成されたのか、それらは現在銀河系のどこにどれだけ残存しているのか。本研究は、この初代星の探査と理論解析を実行し、宇宙初期の星形成史と銀河形成史を解明する研究を行った。初代星としての超金属欠乏星候補を、すばる望遠鏡超広視野カメラHSCにて探査するために、特別に設計された狭帯域フィルターを製作した。また、初代星の形成過程に関する宇宙論的シミュレーションを実施し、現在生き残っている初代星の割合に関する理論的枠組みを構築することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

宇宙の歴史において最初に生まれた星、いわゆる初代星は、宇宙初期のいつ頃どのようにして形成されたのか、そして初代星を含む銀河の形成はどのように進んだのであろうか、という問題は、天文学の分野における重要な課題である。本研究では、これらの理解を目標として、現在銀河系に生き残っている初代星探査のための理論研究の推進と実際の探査観測のための枠組みを構築することができた。宇宙初期における星の形成過程は、人類の存在に結びつく根源的な課題であり、この理解に対して重要な枠組みを構築できた意義がある。

研究成果の概要(英文)：How the first stars in the Universe formed? Where and to what extent their survivors are remaining in the Milky Way? This research group has established the photometric search for such ancient stars and also explored the detailed theoretical investigations on the formation of the first stars and the related galaxy formation histories. In order to search for extremely metal-poor stars as the remnants of the first stars using the Hyper-Suprime Camera (HSC) attached on Subaru telescope, we have made a set of specially designed narrow-band filters. Also, high-resolution cosmological simulations have been carried out on the formation of the first stars, which have enabled us to establish the theoretical framework for the survival rate of such ancient stars in the present time.

研究分野：銀河物理学

キーワード：金属欠乏星 初代星

1. 研究開始当初の背景

宇宙初期に生まれた星はどのような過程で形成されたのか、それらは現在の銀河系のどこにありどれだけ残存しているのか、という問題は、天文学における最重要課題のひとつと位置付けられている。特に、大望遠鏡を用いた観測によって、宇宙で最初に生まれた星、すなわち初代星が形成される現場に確実に近づきつつあり、今後宇宙のさらに深い領域を探索することにより、初代星を含む生まれたての銀河に関して理解が進むと考えられる。初代星形成の理論研究も進展しており、当初は 100 太陽質量以上の大質量星のみが形成され、このような大質量星は寿命が短くてすぐに爆発して消失すると考えられていたが、降着円盤の分裂などの過程により太陽質量以下の星も生まれる可能性が非常に高いことが、最近の理論研究からわかってきた。そうすると、このような小質量の初代星は、その長い寿命によって現在でも銀河系の中にとっても古い年齢で金属量がとても少ない星（超金属欠乏星）として存在している可能性が大変高い。実際、太陽の 10 万分の 1 以下の金属量を持つ星が太陽近傍に見つかっており、それらは銀河系の最も初期の状態に関する重要な情報源となっている。すなわち、銀河系に存在する超金属欠乏星の空間分布や運動を調べることによって、初代星の形成過程、および銀河初期の動的進化史に関して大変重要な手がかりが得られると期待されてきたのである。

2. 研究の目的

このような学術的背景の中で、本研究の目的は、宇宙初期に形成された初代星としての古い星の探査と理論解析を実行し、宇宙初期における星形成史、さらには階層的合体による銀河形成史を解明することにある。そのために、銀河系にある恒星系から初代星としての超金属欠乏星候補を、すばる望遠鏡広視野カメラ（Hyper Suprime Cam: HSC）を用いて探査を行う。特に、銀河古成分恒星系であるバルジ、ハロー、および矮小銀河としての衛星銀河に対して系統的な測光観測を行う枠組みを構築する。また、このような観測から得られる初代星の生き残りがどれだけ存在しているかを分析するために、初代星の形成理論とそれに関わる銀河形成論を構築する。これらに基づいて、天文学の最重要課題のひとつである宇宙で最初の星の形成過程を解明することが目的である。

3. 研究の方法

本研究の方法は、これまでの超金属欠乏星探査では達し得なかった、太陽近傍から距離が離れた領域、すなわち銀河バルジやハロー、さらに銀河系衛星銀河としての矮小銀河において、系統的な超金属欠乏星候補天体の探査観測を立ち上げる。残存していると期待されるこれらの星は一般に暗く、個別に分光観測を遂行するのは困難があり、測光観測の方が圧倒的に効率が良い。そこで、超金属欠乏星を選択的に検出する狭帯域フィルターを製作し、すばる望遠鏡の超広視野撮像カメラ HSC に搭載して系統観測を行う。そして、得られた観測データと初代星形成の理論に基づいた銀河形成過程の詳細な大規模数値シミュレーションを組み合わせ、宇宙における初代星の形成と銀河の構造形成の歴史を辿り解明することが目標である。

4. 研究成果

(1) 超金属欠乏星の探査観測の準備と成果

超金属欠乏星候補を系統的な測光観測で取得するために、金属量に敏感な波長 395nm 付近にある CaHK 吸収線に合わせた新しい狭帯域フィルター NB395 を製作した。これに類似したフィルターは、世界の小・中口径望遠鏡にて既実績があり、超金属欠乏星の探査に最適であることが知られている。また、既知の超金属欠乏星の中には、その形成・進化過程に依存して炭素の組成比が高い（[C/Fe]が高い）ものがあり、超金属欠乏星の起源を理解する上で大変重要である。特に金属量の低い星では[C/Fe]比が高いものが多く、宇宙初期には一定の炭素過剰な環境があったと考えられる。一方、炭素量も欠乏した真の初代星の存在も期待され、炭素量の多いものと区別する必要がある。そこで、炭素組成量に敏感な 430nm 付近にある G-band 吸収線に合わせた新しい狭帯域フィルターを設計し作成した。そして、これら 2 枚の新しい狭帯域フィルターをすばる望遠鏡の超広視野カメラ HSC に装着することが可能となった。これにより、既存の広帯域フィルターと組み合わせた大規模な測光観測を実行する準備が整った。

製作した狭帯域フィルター NB395 ならびに NB430 の透過曲線を図 1 に示す。比較のために、2 つの恒星スペクトルも示してあり、青線は金属量が [Fe/H]=-3.0、黒線は [Fe/H]=-1.0 に対応している。NB395 の透過曲線が CaHK の吸収線にうまく合致しているのがよくわかる。さらに、NB430 によって、炭素に起因した吸収線を測定できることが示されている。

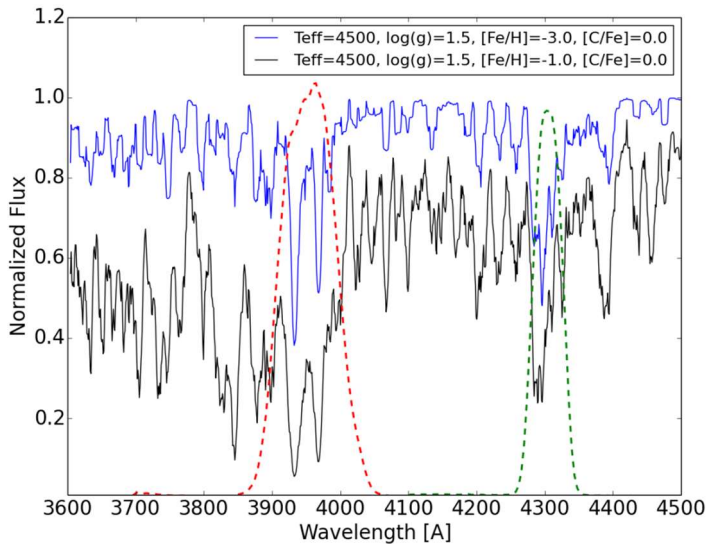


図1：すばる望遠鏡HSC用に製作した、狭帯域フィルターNB395（赤い破線）とNB430（緑の破線）の透過曲線。比較として、金属量 $[Fe/H]=-3.0$ （青線）と $[Fe/H]=-1.0$ （黒線）の場合の恒星スペクトルを示す。

本研究においては、狭帯域フィルターNB395と広帯域フィルター（g, i）を組み合わせ、超金属欠乏星の探査に用いる。これらのフィルターを組み合わせた実際の2色図を図2に示す。金属量が非常に少ない $[Fe/H]=-4$ の星でも、この3枚のフィルターを組み合わせると他の金属量の星と区別し分離することが十分に可能であることがわかる。

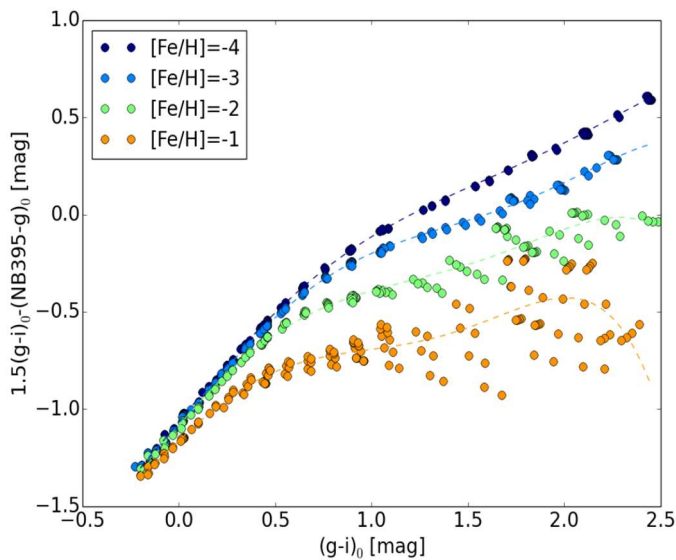


図2：製作したNB395と、既存の広帯域フィルター（g, i）と組み合わせた2色図。金属量が $[Fe/H]=-4$ 、 -3 、 -2 、 -1 の場合についての測定点が見られる。金属量が非常に少ない $[Fe/H]=-4$ の星は十分に区別し分離することが可能になることがわかる。

これらの狭帯域フィルターを用いることにより、これまで届かなかった銀河系の深領域における超金属欠乏星候補天体およびその組成情報を多数得ることが可能になる。実際、本研究グループでは、すばる望遠鏡HSCにNB395を装着した観測時間を獲得することに成功し、2021年の9月に観測が予定されている。但し、当初の計画では、本科研費研究期間内で観測を遂行しデータの解析を行う予定であったが、最初に製作したNB395に不具合があり、その改善にかなり時間がかかって期間内での観測実現に至らなかった。

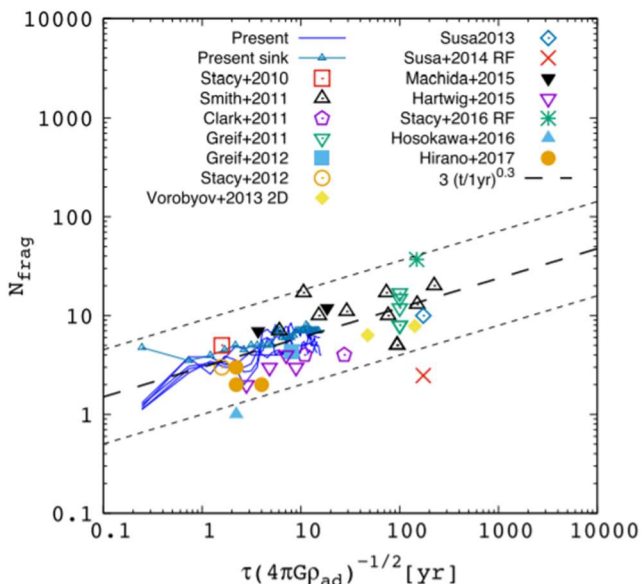
(2) 初代星の理論研究の成果

以下に列挙するように、初代星の理論研究に多くの成果が得られた。

- ① 低金属量環境における星形成の研究に関してミニハロー中での初代星形成から第二世代の星形成に至る自己整合的な計算を行った (Chiaki, G., Susa, H., Hirano, S. 2018, MNRAS, 475, 4378)。初代星の質量はパラメータとし、コア崩壊型超新星とペア不安定型超新星について調べた。その結果、コア崩壊型の超新星の場合には、ミニハローのガスが超新星爆発後に再収縮する結果、第二世代の星が誕生する。これが現在観測される超金属欠乏 (EMP) 星であると考えられると無矛盾であることが分かった。一方、ペア不安定型に関しては放射による

ガスのスイープが強く働き、爆発エネルギーが大きいこととあいまって、ミニハローにガスが戻ってくることは稀である。近傍のハローにまで重元素が到達するが、汚染度は高くない。これらのことからその痕跡を EMP 星などに残すことは稀なのではないかという示唆を得た。

- ② 初代星降着円盤の分裂の研究を行った (図 3)。プロダクトランは国立天文台などの大型計算機を想定していたが、本科研費で導入した並列計算機でまずは可能なサイエンティフィックな計算を行った。この計算は 10 の 16 乗個/cc の高密度領域を分解し、かつ原始星形成後 2000 年程度の進化を追うものである。計算を行うと円盤の形成とその分裂及び分裂片の合体が並行して進行する。この計算ではわずかなゆらぎ (SPH 粒子の位置) が初期条件に与えられており、カオス的なふるまいをする結果、分裂片の個数はそのゆらぎに依存する。しかし

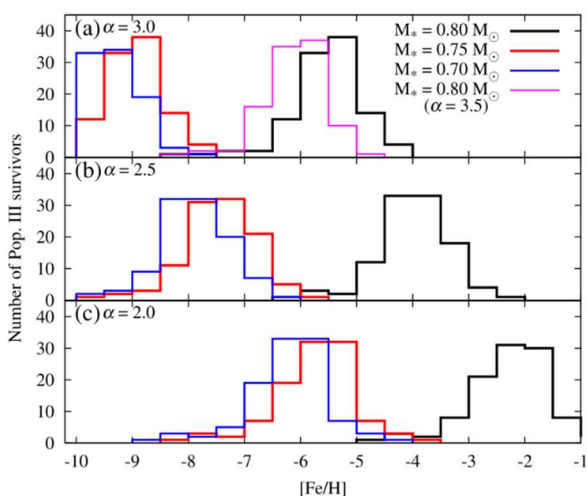


試行を繰り返すと、分裂片の個数進化がほぼ時間の弱い冪に比例して増加していくことがわかった。この研究によって分裂片の個数進化がほぼ時間の 0.3 乗に比例して増加していくことがわかった。しかもこの系がほぼスケールフリーの性質をもつことから、過去の文献にある多くの計算をスケールすると、全てこのべき乗則に従うことがわかった。これは非常に重要な発見であると考えている。これにより現在まで生き残っている初代星が存在する可能性が高まった。

図 3 : ミニハローにおける分裂片の数の進化。Susa, H. 2019, ApJ, 877, 90 より。

- ③ 初代星形成環境では超音速乱流が励起されていることは数値計算によって示唆されていた。多くの計算は乱流を分解できていないが、乱流を正しく取り入れると、分裂の抑制や磁場の増幅などの重要な効果があることが示されている。しかしその乱流励起の物理的原因は明らかでなかった。本研究では超高解像度の数値シミュレーションと解析的議論を用いて、乱流増幅が重力収縮にともなう「負のハッブルドラッグ」と言うべきメカニズムで起きていることを確かめた (Higashi, S., Susa, H., Chiaki, G. 2021, arXiv:2105.07701)。

- ④ 恒星間天体との衝突による低質量初代星への金属汚染の効果を調べた (図 4)。高解像度の宇宙論的 N 体シミュレーションを用いて、初代星の軌道を従来よりも精密に取り入れた。太陽近傍では、100m 以上のサイズの恒星間天体との衝突は、典型的には 1000 年に 1 回程度の頻度で起こることがわかった。金属汚染量は恒星間天体のサイズにも依存するが、典型的には



的には 0.8 太陽質量の初代星で $[Fe/H] = -2, 0.70-0.75$ 太陽質量で $[Fe/H] = -6 \sim -5$ 程度である。この結果をまとめた論文は、Kirihara, T., Tanikawa, A., Ishiyama, T. 2019, MNRAS, 486, 5917 にて発表している。

図 4 : 太陽近傍に生き残った低質量初代星の表面金属量の分布。初代星の質量ごとにプロットしている。Kirihara, T. et al. 2019 より。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 6件 / うちオープンアクセス 9件）

1. 著者名 Homma, D., Chiba, M., Komiyama, Y. et al.	4. 巻 71
2. 論文標題 Bootes. IV. A new Milky Way satellite discovered in the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey and implications for the missing satellite problem	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PASJ	6. 最初と最後の頁 94 (1-13)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz076	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 Fukushima, T., Chiba, M. et al. (including Komiyama, Y. as 7th author)	4. 巻 71
2. 論文標題 The stellar halo of the Milky Way traced by blue horizontal-branch stars in the Subaru Hyper Suprime-Cam Survey	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 PASJ	6. 最初と最後の頁 72 (1-16)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz052	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 Komiyama, Y.	4. 巻 344
2. 論文標題 Subaru Hyper Suprime-Cam Survey for the Local Group Dwarf Galaxies: Ursa Minor	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IAU Symposium Proceedings	6. 最初と最後の頁 94-95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1017/S1743921318006518	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 Susa, H.	4. 巻 877
2. 論文標題 Merge or Survive: Number of Population III Stars per Minihalo	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 99-109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab1b6f	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 Ishiyama, T., Ando, S.	4. 巻 492
2. 論文標題 The abundance and structure of subhaloes near the free streaming scale and their impact on indirect dark matter searches	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 3662-3671
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa069	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 Fukushima, T., Chiba, M. et al.	4. 巻 70
2. 論文標題 Structure of the Milky Way stellar halo out to its outer boundary with blue horizontal-branch stars	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 69-1 - 69-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy060	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 Toyouchi, D., Chiba, M.	4. 巻 855
2. 論文標題 Metallicity Distribution of Disk Stars and the Formation History of the Milky Way	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 104-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aab044	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 Tanaka, M., Chiba, M. et al.	4. 巻 865
2. 論文標題 The Missing Satellite Problem Outside of the Local Group. I. Pilot Observation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 125-136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aad9fe	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 Komiyama, Y., Chiba, M. et al.	4. 巻 853
2. 論文標題 Stellar Stream and Halo Structure in the Andromeda Galaxy from a Subaru/Hyper Suprime-Cam Survey	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 id. 29, 21 pp.
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaa129	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 Chiaki, G., Susa, H., Hirano, S.	4. 巻 475
2. 論文標題 Metal-poor star formation triggered by the feedback effects from Pop III stars	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4378-4395
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty040	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 Hiroshima, N., Ando, S., Ishiyama, T.	4. 巻 97
2. 論文標題 Modeling evolution of dark matter substructure and annihilation boost	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 id.123002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.97.123002	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 Komiyama, Y., Chiba, M. et al.	4. 巻 853
2. 論文標題 Stellar Stream and Halo Structure in the Andromeda Galaxy from a Subaru/Hyper Suprime-Cam Survey	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 29-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaa129	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 Gilbert, K. M. et al. (including Chiba, M.)	4. 巻 852
2. 論文標題 Global Properties of M31 's Stellar Halo from the SPLASH Survey. III. Measuring the Stellar Velocity Dispersion Profile	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 128-148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa9f26	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 Toyouchi, D., Chiba, M.	4. 巻 855
2. 論文標題 Metallicity Distribution of Disk Stars and the Formation History of the Milky Way	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 104-124
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aab044	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 Tanaka, S., Chiaki, G., Tominaga, N., Susa, H.	4. 巻 844
2. 論文標題 Blocking Metal Accretion onto Population III Stars by Stellar Wind	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 137-147
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa7e2c	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 Oogi, T., Enoki, M., Ishiyama, T. et al.	4. 巻 471
2. 論文標題 Imprints of the super-Eddington accretion on the quasar clustering	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 L21-L25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/slx102	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 -

〔学会発表〕 計17件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 10件）

1. 発表者名 千葉 稯司
2. 発表標題 New Insights into the Stellar and Dark Halos in the Milky Way and Andromeda as Revealed from Subaru
3. 学会等名 すばる20周年国際研究会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉 稯司
2. 発表標題 New structures of the Milky Way stellar and dark halos revealed from the Subaru/Hyper Suprime-Cam survey
3. 学会等名 国際天文学連合会議 (IAU 353) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小宮山 裕
2. 発表標題 矮小不規則銀河NGC 6822の外縁部に分布する淡い水素輝線放射領域の発見
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石山 智明
2. 発表標題 大規模天体サーベイ観測に向けた模擬カタログの構築と公開
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 須佐 元
2. 発表標題 Number of population III stars per minihalo
3. 学会等名 First Stars VI 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masashi Chiba
2. 発表標題 PFS Galactic Archaeology
3. 学会等名 PFS国際共同研究会議 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yutaka Komiyama
2. 発表標題 Precise Color-Magnitude Diagrams for the Local Group Galaxies from Subaru Hyper Suprime-Cam
3. 学会等名 The 21st Century H-R Diagram: The Power of Precision Photometry (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hajime Susa
2. 発表標題 Fragmentation of the accretion disk around Pop III stars
3. 学会等名 Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, 2nd Annual Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoaki Ishiyama
2. 発表標題 Where are the low mass Pop III stars?
3. 学会等名 The life and times of the Milky Way (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Ishiyama
2. 発表標題 Observability of low mass Pop III survivors in the Milky Way and dwarf galaxies
3. 学会等名 Stellar Archaeology as a Time Machine to the First Stars (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 千葉 稯司
2. 発表標題 PFS Galactic Archaeology
3. 学会等名 PFS国際共同研究会議 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 千葉 稯司
2. 発表標題 すばるPFSが拓く近傍宇宙論と銀河暗黒物質の正体の解明
3. 学会等名 日本天文学会春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須佐 元
2. 発表標題 Present status of the formation theory of First stars
3. 学会等名 初代星初代銀河形成研究会2017 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 須佐 元
2. 発表標題 Stellar wind prevents the ISM gas from accreting onto the Pop III stars
3. 学会等名 Francesco's Legacy - Star Formation in Space and Time 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小宮山裕
2. 発表標題 Hyper Suprime-Camで探るアンドロメダ銀河の恒星ストリームとハロー構造
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石山智明
2. 発表標題 銀河の中に生き残った初代星の分布
3. 学会等名 天体形成論 過去・現在・未来
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石山智明
2. 発表標題 PFSによる銀河系内に生き残った初代星の探査
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
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
研究分担者	須佐 元 (Susa Hajime) (00323262)	甲南大学・理工学部・教授 (34506)	
研究分担者	小宮山 裕 (Komiya Yutaka) (20370108)	国立天文台・ハワイ観測所・助教 (62616)	
研究分担者	石山 智明 (Ishiyama Tomoaki) (90616426)	千葉大学・統合情報センター・准教授 (12501)	

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		
米国	プリンストン大学	スペーステレスコープ研究所	カリフォルニア大学