

令和 6 年 6 月 5 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01934

研究課題名（和文）初期宇宙での星団形成：初代星団から球状星団まで

研究課題名（英文）Star cluster formation in the early universe: from PopIII clusters to globular clusters

研究代表者

細川 隆史（HOSOKAWA, Takashi）

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：30413967

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,100,000円

研究成果の概要（和文）：主に初期宇宙を舞台とする星団形成を対象として、多様な理論研究を行った。初代星形成に関しては、円盤分裂と放射feedback下で連星系を含む小星団が誕生する様子を確認した。また、銀河形成理論で考えられているcold accretionが宇宙で最初に発現する場合には、超大質量星形成が起こる可能性を明らかにした。このとき実現される急速ガス降着下では大半径の原始星が現れることを初めて3次元計算により示した。低金属量での星団形成では、金属量が下がるほど初期質量関数がtop-heavyになるが同時に星形成効率も下がるため、最近のJWST観測を説明するには程々に低い金属量環境が最適であることを指摘した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ビッグバン後に初めて誕生する恒星内部では、酸素や炭素などの重元素が初めて合成されるので、我々を含む生命誕生にいたる第一歩である。したがって、未踏の初期宇宙で何が起きたのかを研究することは我々の起源を探ることに直結する。ビッグバン時の元素組成をそのまま残す初代星、あるいは極少量の重元素だけを含むような星形成はこれまで観測の手の届かない、超遠方の宇宙が舞台と考えられもっぱら理論的研究の対象だった。しかし、最近のJWSTの活躍によって、かつてないほどの遠方宇宙が観測の対象となり、理論研究と観測研究が会い合うときが近づいている。このような背景のもと、本研究もこの進展に寄与するものである。

研究成果の概要（英文）：We have carried out several theoretical studies, mainly on cluster formation in the early universe. For Pop III star formation, we confirmed the birth of small clusters, including binary systems, through disk fragmentation and radiative feedback. We have also identified the possibility of supermassive star formation when cold accretion first appears in the Universe. Our 3D radiation hydrodynamics (RHD) simulations also showed that rapid mass accretion, as realized in this case, produces protostars with very large radii. Using RHD simulations, we also showed that cluster formation at moderately low metallicity is the best explanation for recent JWST observations of galaxies, since the initial mass function becomes top-heavy as metallicity decreases, but star formation efficiency also decreases.

研究分野：天体物理学

キーワード：星団形成 初代星 種族III星 超巨大ブラックホール 電離領域 輻射流体力学 数値シミュレーション

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

### 1. 研究開始当初の背景

本研究が開始された2019年当初、重力波観測が進んだことを受けて、初代星形成に関して連星形成の3次元輻射流体シミュレーションが初めて可能になりつつある段階だった(Sugimura et al. 2020)。同様の、個別の星が誕生するような比較的小スケールでは、わずかに重元素を含む場合の円盤分裂やフィードバック過程の研究も進みつつあった。一方で、ジェームズ・ウェッブ宇宙望遠鏡(JWST)の打ち上げが近づいており、遠方宇宙の観測が飛躍的に進むことが予想されていた。このとき観測に最初にかかるのは、やはり少ないながら重元素量はほどほどにあり、かつ多数の大質量星を含むような星団になると考えられた。したがって、それまでの研究を拡張する形で、空間スケールをこれまでより大きくとり、実際に早期に観測対象になるような星団形成まで含む理論研究を意図して本研究を計画した。

### 2. 研究の目的

初期宇宙で実現するような、銀河系とは異なる環境における星団形成過程を主に大規模数値シミュレーションを用いた理論研究によって明らかにすることが目的だった。具体的には、重元素の全くない初代星からなる星団から、最も低金属な場合  $10^{-3}Z_{\odot}$  のものがある球状星団の形成までを対象とした。特に、銀河スケールの進化、及び遠方宇宙の観測に重要な、大質量星( $>10M_{\odot}$ )を多く含む星団形成過程について、その環境依存性を明らかにすることを目指した。そのとき形成途上の星団がどのような観測的な特徴を持つかを予言し、また、既存および将来観測によって理論研究の観測的検証可能性を探ることも目的とした。

### 3. 研究の方法

主として数値シミュレーションを用いて大質量星を含む星団の形成過程を研究した。問題に応じて格子法、粒子法それぞれの手法を採用した計算コードを使い分けて多様な設定の放射流体シミュレーションを実行した。計算結果の観測的特徴を探るためにポストプロセスでの放射輸送計算も行った。

### 4. 研究成果

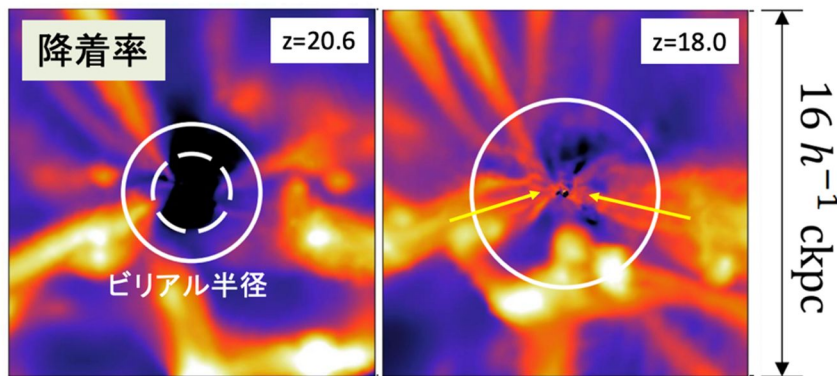


Fig.1: 宇宙最初の”cold accretion”、つまりダークハロー中心部に銀河間ガスが直接貫入し始める様子を追跡した宇宙論的シミュレーション(Kiyuna et al. 23より)。左パネル( $z=20.6$ )ではハローのビリアル半径ほどにしかガスが達していないが、右パネル( $z=18$ )では奥深くまで流入するようになったことが分かる。

初代星形成に関しては、円盤分裂と放射 feedback 下で連星系を含む小星団が誕生する様子を確認した(Sugimura et al.2020; 2023, Kimura et al. 2021)。また、銀河形成理論で考えられている cold accretion が宇宙で最初に発現する場合には、超大質量星形成が起こる可能性を明らかにした(Kiyuna et al. 2023; Fig.1)。このとき実現される急速ガス降着下では大半の原始星が現れることを初めて3次元計算により示した(Kimura et al. 2023; Fig.2)。

これまでよりも空間スケールが大きな星団形成に関しては、それまでに開発された初代星形成を追跡するための計算コードをさらに拡張する形で計算が可能になった(Fukushima et al. 2020)。近傍宇宙でも、球状星団の若い頃の姿に近いと言われる大星団の誕生が見られるが、数値シミュレーション中でこのような進化が起こる場合には、電波連続波に特徴的な観測的兆候が現れ、かつ既存の観測ともよく合うことを発見した(Inoguchi et al.2024)。

低金属量での星団形成では、金属量をパラメータとして個々の星を分解するような放射流体シ

ミュレーションを実行した。その結果、金属量が下がるほど初期質量関数が top-heavy になるが同時にそのぶんフィードバックが強くなって星形成効率も下がることが分かった。最近の JWST 観測によると、 $z > 10$  の超遠方宇宙ではこれまでの銀河形成モデル予測に比べて明るい銀河の数に超過が見られることが指摘されているが、これを説明するには程々に低い金属量環境が最適であることを示した(Chon et al. 2024; Fig.3)。

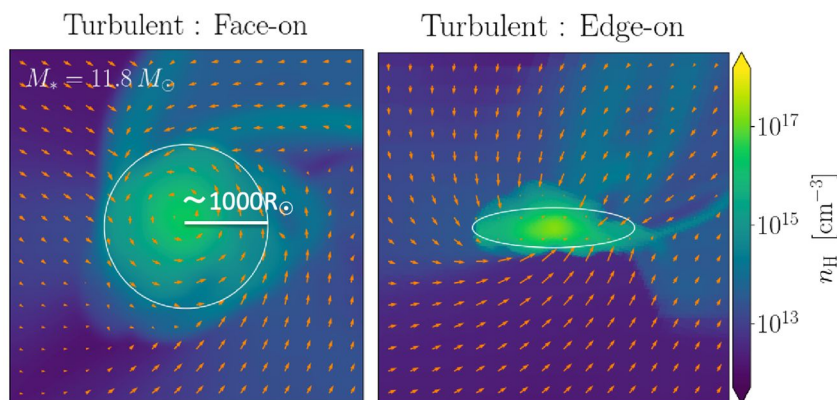


Fig.2: 急速降着する原始星の内部を分解した 3 次元輻射流体シミュレーション (Kimura et al.23 より)。超大質量星ができる最初の 10 年間に追跡したところ、半径が太陽の 1000 倍に達する、巨星化した高速回転する大質量原始星が現れた。白線が星表面の位置を表す。

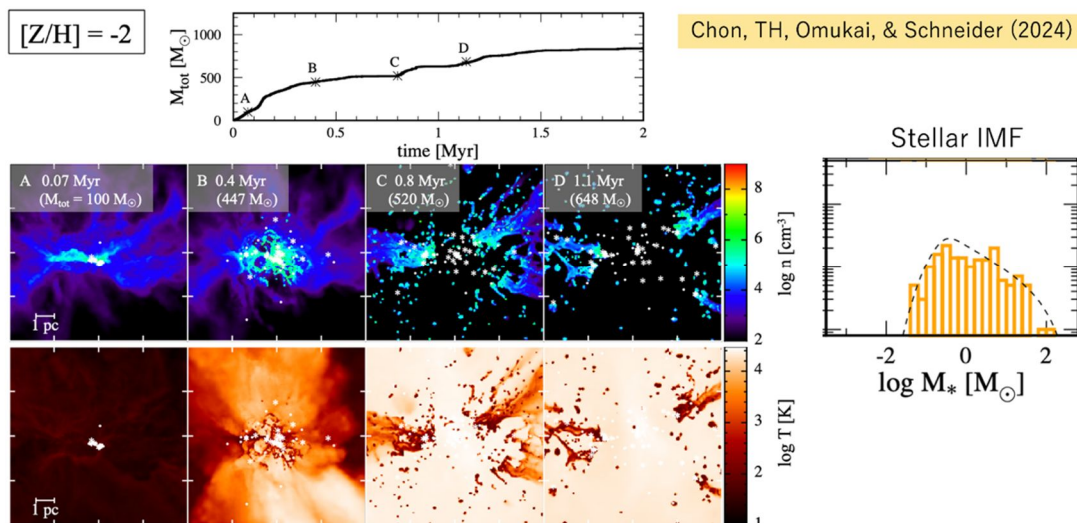


Fig.3: 金属量が太陽組成の 1% の場合の星団形成 3 次元輻射流体シミュレーション (Chon et al. 24 より)。左下の 2x4 パネルがシミュレーション中の時間進化を示し、もとの  $6000 M_{\odot}$  のガス雲から星団が誕生し、同時に大質量星まわりに作られる電離領域の伝播によりガス雲破壊が起きる様子が分かる。右パネルは最終状態の星質量分布であり、太陽組成の場合より大質量星の超過のある、いわゆる top-heavy な分布が実現しているのが分かる。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計19件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 0件）

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Matsukoba R., Tanaka, K., Omukai, K., Vorobyov, E., & Hosokawa, T.                 | 4. 巻<br>515             |
| 2. 論文標題<br>Protostellar-disc fragmentation across all metallicities                          | 5. 発行年<br>2022年         |
| 3. 雑誌名<br>Monthly Notices of the Royal Astronomical Society                                  | 6. 最初と最後の頁<br>5506-5522 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stac2161   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |
| 1. 著者名<br>Kimura, K., Hosokawa, T., & Sugimura, K.   | 4. 巻<br>911             |
| 2. 論文標題<br>Growth of Massive Disks and Early Disk Fragmentation in Primordial Star Formation | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>ApJ  | 6. 最初と最後の頁<br>52-68     |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/abe866   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Harada, N., Hirano, S., Machida, M., N., & Hosokawa, T.                            | 4. 巻<br>508             |
| 2. 論文標題<br>Impact of magnetic braking on high-mass close binary formation                    | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>3730-3747 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stab2780   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |
| 1. 著者名<br>Shima, K., & Hosokawa, T.  | 4. 巻<br>508             |
| 2. 論文標題<br>Gravitational fragmentation of extremely metal-poor circumstellar discs           | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>4767-4785 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stab2844   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                      |
|--|----------------------|
| 1. 著者名<br>Tanikawa, A., et al.   | 4. 巻<br>926          |
| 2. 論文標題<br>Merger Rate Density of Binary Black Holes through Isolated Population I, II, III and Extremely Metal-poor Binary Star Evolution | 5. 発行年<br>2022年      |
| 3. 雑誌名<br>ApJ  | 6. 最初と最後の頁<br>83-103 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/ac4247   | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>-            |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Inayoshi, K., et al.   | 4. 巻<br>927           |
| 2. 論文標題<br>Rapid Growth of Seed Black Holes during Early Bulge Formation | 5. 発行年<br>2022年       |
| 3. 雑誌名<br>ApJ  | 6. 最初と最後の頁<br>237-257 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/ac4751                     | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Chon, S., & Hosokawa, T.  | 4. 巻<br>488             |
| 2. 論文標題<br>Forming Pop III binaries in self-gravitating disks: how to keep the orbital angular momentum | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS   | 6. 最初と最後の頁<br>2658-2672 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stz1824   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Mitani, H., Yoshida, N., Omukai, K., & Hosokawa, T.  | 4. 巻<br>488           |
| 2. 論文標題<br>Spectral energy distribution of the first galaxies: contribution from pre-main-sequence stars | 5. 発行年<br>2019年       |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>L64-L68 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnrasl/slz100  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Sugimura, K., Matsumoto, T., Hosokawa, T., Hirano, S., & Omukai, K. | 4. 巻<br>892           |
| 2. 論文標題<br>The Birth of a Massive First-star Binary                           | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>ApJL  | 6. 最初と最後の頁<br>L14-L19 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/2041-8213/ab7d37                          | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Toyouchi, D., Hosokawa, T., Sugimura, K., & Kuiper, R.   | 4. 巻<br>496             |
| 2. 論文標題<br>Gaseous dynamical friction under radiative feedback: do intermediate-mass black holes speed up or down? | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>1909-1921 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa1338   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|   |                      |
|---|----------------------|
| 1. 著者名<br>Haemmerle, L., Mayer, L., Klessen, R.S., Hosokawa, T., Madau, P., & Bromm, V. | 4. 巻<br>216          |
| 2. 論文標題<br>Formation of the first stars and black holes                                 | 5. 発行年<br>2020年      |
| 3. 雑誌名<br>Space Science Reviews   | 6. 最初と最後の頁<br>48-106 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1007/s11214-020-00673-y                                  | 査読の有無<br>有           |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する         |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Fukushima, H., Hosokawa, T., Chiaki, G., Omukai, K., Yoshida, N., & Kuiper, R.           | 4. 巻<br>497           |
| 2. 論文標題<br>Formation of massive stars under protostellar radiation feedback: Very metal-poor stars | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>829-845 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa1994   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する          |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Fukushima, H., Yajima, H., Sugimura, K., Hosokawa, T., Omukai, K., & Matsumoto, T.                           | 4. 巻<br>497             |
| 2. 論文標題<br>Star cluster formation and cloud dispersal by radiative feedback: dependence on metallicity and compactness | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>3830-3845 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa2062   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Inoguchi, M., Hosokawa, T., Mineshige, S., & Kim, Jeong-Gyu  | 4. 巻<br>497             |
| 2. 論文標題<br>Factories of CO-dark gas: molecular clouds with limited star formation efficiencies by far-ultraviolet feedback | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>5061-5075 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa2022   | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Vorobyov, E., Elbakyan, V.G., Omukai, K., Hosokawa, T., Matsukoba, R., & Guedel, M. | 4. 巻<br>641         |
| 2. 論文標題<br>Accretion bursts in low-metallicity protostellar disks                             | 5. 発行年<br>2020年     |
| 3. 雑誌名<br>A&A   | 6. 最初と最後の頁<br>72-80 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1051/0004-6361/202038354                                       | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Machida, M.N., & Hosokawa, T.  | 4. 巻<br>499             |
| 2. 論文標題<br>Failed and delayed protostellar outflows with high mass accretion rates | 5. 発行年<br>2020年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS  | 6. 最初と最後の頁<br>4490-4514 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa3139                                 | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>-               |

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Matsukoba, R., Vorobyov, E.I., Sugimura, K., Chon, S., Hosokawa, T., & Omukai, K. | 4. 巻<br>500             |
| 2. 論文標題<br>Disk fragmentation and intermittent accretion onto supermassive stars            | 5. 発行年<br>2021年         |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS   | 6. 最初と最後の頁<br>4126-4138 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/staa3462  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する            |

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1. 著者名<br>Toyouchi, D., Inayoshi, K., Hosokawa, T., & Kuiper, R.  | 4. 巻<br>907         |
| 2. 論文標題<br>Super-Eddington mass growth of intermediate-mass black holes embedded in dusty circumnuclear disks | 5. 発行年<br>2021年     |
| 3. 雑誌名<br>ApJ   | 6. 最初と最後の頁<br>74-91 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.3847/1538-4357/abcf2   | 査読の有無<br>有          |
| オープンアクセス<br>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<br>該当する        |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Chon, S., Hosokawa, T., & Omukai, K.                        | 4. 巻<br>502           |
| 2. 論文標題<br>Cosmological DCBH formation sites hostile for their growth | 5. 発行年<br>2021年       |
| 3. 雑誌名<br>MNRAS   | 6. 最初と最後の頁<br>700-713 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1093/mnras/stab061                     | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>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<br>-             |

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 7件 / うち国際学会 6件)

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takashi Hosokawa   |
| 2. 発表標題<br>3D RHD simulations of rapidly accreting Pop III protostars   |
| 3. 学会等名<br>9th East Asia Numerical Astrophysics Meeting (EANAM9) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2022年   |



|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>細川隆史   |
| 2. 発表標題<br>High-mass Star Formation across the universe |
| 3. 学会等名<br>第52回天文・天体物理若手夏の学校（招待講演）                      |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>松木場亮喜, 細川隆史, Vorobyov, E. I. |
| 2. 発表標題<br>自己重力不安定による低金属量巨大ガス惑星の形成      |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2023年春季年会              |
| 4. 発表年<br>2023年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>猪口睦子, 細川隆史, 嶺重慎, 福島肇, 矢島秀伸, 田中圭                      |
| 2. 発表標題<br>Young Massive Cluster形成時の観測的特徴: 連続光spectrumと高密度HII領域 |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2023年春季年会                                      |
| 4. 発表年<br>2023年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>杉村和幸, 松本倫明, 細川隆史, 平野真吾, 大向一行 |
| 2. 発表標題<br>初代星形成シミュレーション: 長距離大質量連星の形成   |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2022年秋季年会              |
| 4. 発表年<br>2022年                         |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>喜友名正樹, 細川隆史, 鄭昇明                   |
| 2. 発表標題<br>宇宙最初のcold accretionの発現と超大質量星形成の可能性 |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2022年秋季年会                    |
| 4. 発表年<br>2022年                               |

|                                      |
|--------------------------------------|
| 1. 発表者名<br>木村和貫, 細川隆史, 杉村和幸, 福島肇     |
| 2. 発表標題<br>宇宙初期の超大質量星形成における原始星構造について |
| 3. 学会等名<br>日本天文学会2023年春季年会           |
| 4. 発表年<br>2023年                      |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takashi Hosokawa                  |
| 2. 発表標題<br>Formation of Pop III binary stars |
| 3. 学会等名<br>PAX-VII workshop (招待講演) (国際学会)    |
| 4. 発表年<br>2021年                              |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takashi Hosokawa  |
| 2. 発表標題<br>Disc Fragmentation in Primordial and Low-metallicity Star Formation |
| 3. 学会等名<br>Disc Fragmentation workshop (招待講演) (国際学会)                           |
| 4. 発表年<br>2022年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>細川 隆史  |
| 2. 発表標題<br>Observational signatures of forming young massive clusters |
| 3. 学会等名<br>新学術星・惑星形成大研究会 (2022春)                                      |
| 4. 発表年<br>2022年   |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Takashi Hosokawa                              |
| 2. 発表標題<br>Primordial and Low-metallicity Star Formation |
| 3. 学会等名<br>ISSI Star Formation workshop (招待講演) (国際学会)    |
| 4. 発表年<br>2019年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takashi Hosokawa   |
| 2. 発表標題<br>Primordial & Extremely Metal-poor high-mass star formation in the early universe |
| 3. 学会等名<br>FIRST STARS VI (招待講演) (国際学会)   |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>Takashi Hosokawa   |
| 2. 発表標題<br>Primordial and Metal-poor High-mass Star Formation       |
| 3. 学会等名<br>Tubingen High-mass Star Formation workshop (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2020年   |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名<br>細川隆史                  |
| 2. 発表標題<br>初代星形成：an overview     |
| 3. 学会等名<br>初代星・初代銀河研究会2019（招待講演） |
| 4. 発表年<br>2019年                  |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

|   |
|---|
| Shima & Hosokawa (2021)の数値シミュレーション動画<br><a href="https://www.youtube.com/playlist?list=PLy0B0LTBcHhAYollvKp5zZ982amm4QcRaK">https://www.youtube.com/playlist?list=PLy0B0LTBcHhAYollvKp5zZ982amm4QcRaK</a><br>Featured Image: formation of the first binaries<br><a href="https://aasnova.org/2020/04/20/featured-image-formation-of-the-first-binaries/">https://aasnova.org/2020/04/20/featured-image-formation-of-the-first-binaries/</a> |
|---|

| 6. 研究組織                   |                       |    |
|---------------------------|-----------------------|----|
| 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(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2件

|                           |                    |
|---------------------------|--------------------|
| 国際研究集会<br>初代星・初代銀河研究会2019 | 開催年<br>2019年～2019年 |
| 国際研究集会<br>初代星・初代銀河研究会2020 | 開催年<br>2020年～2020年 |

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   |           |                |  |
|---------|-----------|-----------|----------------|--|
| オーストリア  | ウィーン大学    |           |                |  |
| ドイツ     | ハイデルベルク大学 | チュービンゲン大学 | デュースブルク・エッセン大学 |  |
| 中国      | 北京大学      |           |                |  |

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |  |  |  |
|---------|---------|--|--|--|
| オーストリア  | ウィーン大学  |  |  |  |