

令和 4 年 6 月 22 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2020

課題番号：17H04827

研究課題名（和文）高分解能数値シミュレーションで迫る初期宇宙の銀河進化メカニズム：多様性の解明へ

研究課題名（英文）Numerical simulations of the galaxy evolution in the early Universe: unveiling the origin of the diversity

研究代表者

矢島 秀伸 (Yajima, Hidenobu)

筑波大学・計算科学研究センター・准教授

研究者番号：10756357

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,000,000円

研究成果の概要（和文）：近年の観測によって、初期宇宙においてさまざまな性質の銀河が観測された。この銀河の多様性の起源を探るべく、高精度な宇宙論的流体計算、そして多波長輻射輸送計算を実行した。結果として、初期宇宙の銀河は超新星爆発の影響によって、星形成が間欠的に起こり、銀河内のガスやダストの分布も大きく変化することが分かった。これに伴い、銀河の観測特性はライマンブレイク銀河、サブミリ波銀河と短時間で変化していくことが分かった。したがって、星からのフィードバックの影響が、銀河の観測的多様性の要因の一つである事を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、すばる望遠鏡、アルマ望遠鏡などによる最新の銀河観測データを理論的に説明するため、大規模な数値シミュレーションにより銀河形成の研究を行った。その際、ズームイン法などの最新の技法を使用することで、宇宙大規模構造から銀河の形態、そして星間ガスの星形成雲までを同時に分解し、階層間の異なる物理現象を明らかにしながら銀河形成過程の研究を行った。そして、輻射輸送計算により銀河の輻射特性をモデル化し、観測を理論的に説明する事に成功した。このように、スーパーコンピュータと最新の計算技術を駆使することで、観測データと直接比較出来る理論モデルの構築に成功した点は学術的に意義がある。

研究成果の概要（英文）：Recent observations have detected galaxies of various properties in the early Universe. To reveal the origin of the observed diversity, we perform cosmological hydrodynamics simulations and multi-wavelength radiative transfer calculations. As a result, we find that supernovae induce the intermittent star formation history and the drastic changes of gas and dust distributions. Due to these phenomena, the observational properties of galaxies rapidly change between Lyman-break and submillimeter galaxies. Thus, we suggest that the stellar feedback can be a main factor inducing the observed diversity of the galaxies.

研究分野：天文学

キーワード：銀河形成 数値シミュレーション 輻射輸送 ダスト

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

すばる望遠鏡やアルマ望遠鏡などを筆頭に、近年の観測技術の目覚ましい発展により、遠方銀河が数多く検出された。それらは、ライマンアルファ輝線で明るい銀河、赤外線で見える銀河、超巨大ブラックホールを持つ大質量銀河など多様な性質を示している。しかしながら、初期宇宙における銀河の多様性の起源はよく分かっていない。理論的に調べるためには、銀河における星形成、重元素とダストの分布の計算、そして多波長輻射輸送計算が必要となる。

また、銀河形成を理解する上で、分子雲形成とそその中の星団形成は重要なファクターの一つである。しかしながら、現在の観測機器でも遠方銀河内の個々の星団を分解して観測する事は難しい。特に、遠方銀河の星間ガスの性質は近傍銀河とは大きく異なる事が予想される。そのため、遠方銀河内の星間ガス、分子雲を想定した星団形成の理論的な研究は重要である。

### 2. 研究の目的

初期宇宙における銀河形成過程、特に星形成史と星によるフィードバックの影響について数値シミュレーションにより明らかにする。また、異なる初期条件について複数のシミュレーションを行う事で、環境の違いによる銀河進化への影響を調べる。これらの結果に対して多波長輻射輸送計算を実行する事で観測と直接比較可能な理論モデルを構築し、銀河の多様性の起源へと迫る。これに加え、遠方銀河内で予想される低金属環境下での星団形成についても、輻射流体シミュレーションにより明らかにする。

### 3. 研究の方法

銀河形成の研究においては、SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics)法をベースに開発された Gadget-2 コードを使用している。我々のグループの所有する Gadget-2 は、始原ガスの非平衡化学計算、紫外線フィードバック、種族 III 星のモデルなどさまざまなオリジナルのモデルが追加されており、遠方銀河の形成を調べるのに適している。本研究では、赤方偏移 6 において銀河ハローの質量が 10 の 11 乗太陽質量、10 の 12 乗太陽質量程度になる天体に着目し、ズームイン初期条件を作成した。空間分解能は 10 パーセク程度に達するため、高密度ガス雲と銀河の大局的構造、宇宙の大規模構造を同時に分解する事が出来る。輻射輸送計算は、モンテカルロ法に基づいて開発されたオリジナル多波長輻射輸送計算コード ART<sup>2</sup> を使用した。ART<sup>2</sup> は適合格子法によって、局所的な密度に応じて空間分解能を適宜変えている。これによって、星形成領域のガスとダストの構造を高精度に分解し、輻射輸送を解くことが出来る。そして、局所的な電離構造、ダストの温度構造をコンシステントに解いて、銀河の表面輝度分布、スペクトルを理論的に導出する事が出来る。

星団形成、ブラックホール成長過程の計算では、メッシュ法に基づいた輻射流体コード SFUMATO、PLUTO、ZEUS を使用した。これらの計算コードに、共同研究者を含む我々のグループで独自に輻射輸送計算、非平衡化学計算を導入し、輻射流体シミュレーションを行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 初代銀河における星形成と超新星フィードバックの関係

ズームイン法を用いた高精度な宇宙論的流体計算によって、初代銀河形成過程を明らかにした。特に、星形成モデル、超新星フィードバックの影響によって、銀河内の星形成史が大きく変化する事が分かった。初期宇宙の銀河は、まだ質量があまり大きくないため、超新星フィードバックの影響により大半のガスを短いタイムスケールで失う。これにより星形成が休止する。その後、再びガス降着や銀河合体を経て銀河内にガスが運ばれ、スターバーストが起きることが分かった。これにより、初代銀河の星形成は間欠的に進む(図 1)。その後、ハロー質量が 10 の 10 乗太陽質量よりも大きくなると、銀河の強い重力により大半のガスが束縛され、安定的な星形成へと移行していく事が分かった。また、フィードバックや星形成のモデルによって銀河の形態も著しく変わる。星形成がゆっくり進む場合は、銀河中心付近に星形成が集中し、高密度ガス領域でフィードバックが非効率になる。それにより、コンパクトなガス円盤が形成される。一方で、高効率な星形成モデルでは低密度領域でも星形成とそれに伴う超新星爆発が起き、ガスの構造はクランピーかつイレギュラーな構造となることが分かった。

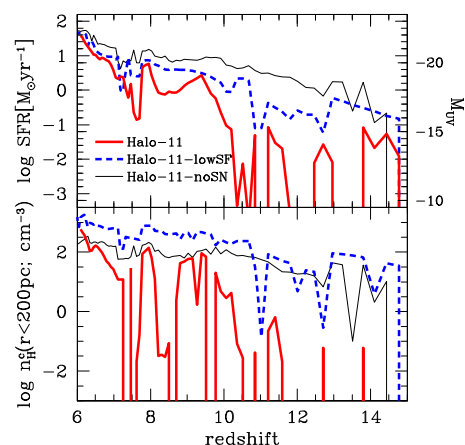


図 1: 銀河の星形成率の赤方偏移進化(上)と銀河中心付近のガス個数密度(下)。線の違いは星形成モデルと超新星フィードバックの有無を表している (Yajima et al. 2017, ApJ, 846, 30)

## (2) 初代銀河の多波長観測特性の研究

宇宙論的流体計算によってモデル化を行った初代銀河に対して、多波長輻射輸送計算を行い、観測特性を調べた。上述のように、初代銀河は星形成、フィードバックによって、ガスや重元素の分布が大きく変化する。それに伴い、観測特性も変化する事が分かった。まず、赤方偏移 10 以上の重元素汚染がほとんど進んでいない時期は、銀河は常に紫外線で明るい状態にある。その後、ダストが銀河内に蓄積すると、スターバーストの初期フェイズでは星の光がダストによって吸収され、ダスト熱放射によって銀河は赤外線で明るくなる。この時は、アルマ望遠鏡などで観測されるサブミリ波銀河として観測される。その後、フィードバックによって、星周囲からガスとダストが排出されると、再び銀河は紫外線で明るい、いわゆるライマンブレイク銀河となる。このように、間欠的な星形成、フィードバックによるガスアウトフローによって、銀河は紫外線で明るいフェイズから赤外線で明るいフェイズへと短時間で変化する事が分かった(図 2)。そして、この変化はハロー質量が 10 の 11 乗太陽程度になるまで繰り返される事が分かった。ハローの質量が大きくなると、ダストは常に星形成領域付近に分布するようになり、星からの紫外線の大半が常に吸収されるようになる。我々は、このような観測特性の変化が、観測された銀河の多様性の原因の一つである事を明らかにした。

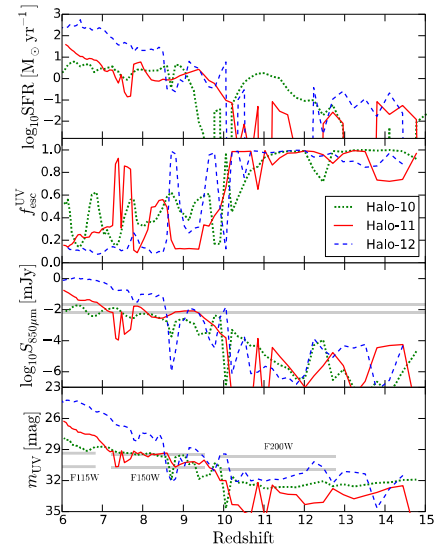


図 2: 上から順に星形成率、紫外線脱出率、サブミリ波フラックス、紫外線フラックスの赤方偏移進化。色の違いは赤方偏移 6 におけるハロー質量の違いを表している (Arata, Yajima et al. 2019, MNRAS, 488, 2629)。

## (3) 巨大ブラックホールに対するダストとガスの降着過程

銀河進化に伴い巨大ブラックホール周囲にはダストが蓄積されていく。ダストは電子に比べて非常に大きい光吸収断面積を持つため、ブラックホールからの輻射を効率的に吸収する。その結果、ブラックホールに対して外向きに大きな輻射力が働き、ガス降着を阻害することが考えられる。本研究では、1次元球対称のダストを含んだガスの降着過程を調べ、時間的な変化とともに、ダスト量、ブラックホール質量に対する依存性についても計算を行った。結果として、密度が大きくなるほど、ダストの影響が強くなりダストが無い場合に比べてブラックホール成長率が 1桁程度小さくなる事が分かった。これに加えて、ブラックホール成長率を知るための赤外線による診断モデルを構築した。14 ミクロンと 140 ミクロンでのフラックスの比、そして赤外線光度を組み合わせた関数によって、ブラックホール成長率を見積もることが出来る事を見出した。

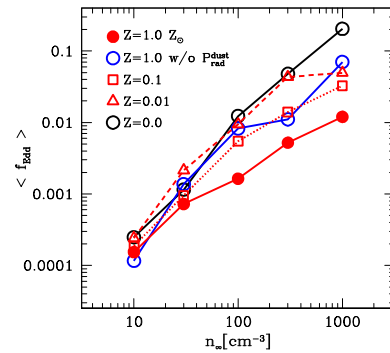


図 3: ブラックホール周囲のガス密度とエディントン比の関係。シンボルの違いは重元素量の違いを表している (Yajima et al. 2017, ApJ, 846, 3)。

## (4) 低金属ガス雲における星団形成過程

さまざまな金属量、質量などをパラメータにしたガス雲において、星団形成過程の輻射流体シミュレーションを実行した。図 4 に示されるように、星が作られると、星からの紫外線によりガスが加熱、そして最終的にガス雲が破壊される事が分かった。結果として、重元素量が多く、密度が天の川銀河内の分子雲と同程度な場合は、ガスから星への変換効率(星形成効率)は 10%程度以下となり、観測をよく再現する事を示した。一方で、重元素量が下がると、ダスト減光が有効に効かないため、電離波面が素早く伝播し、ガス雲破壊がより短い時間で起きることが分かった。結果として、星形成率はさらに数倍程度小さくなる。一方で、初期のガス雲が高密度かつコンパクトな場合は、ガス雲が作る深い重力ポテンシャルにより、輻射フィードバックによる破壊が遅れ、星形成率は大きくなる事を示した。

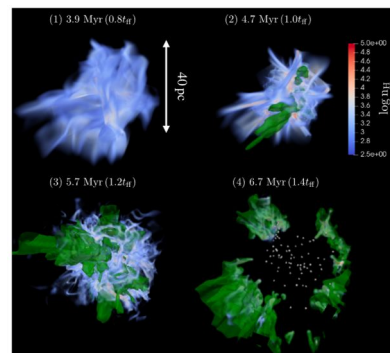


図 4: ガス雲の時間進化。色はガス密度、緑は電離波面を表している。白点は星団粒子である (Fukushima, Yajima et al. 2020, MNRAS, 497, 3830)。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15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 0件）

1. 著者名 Arata Shohei, Yajima Hidenobu, Nagamine Kentaro, Li Yuexing, Khochfar Sadegh	4. 巻 488
2. 論文標題 Radiative properties of the first galaxies: rapid transition between UV and infrared bright phases	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 2629 ~ 2643
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1887	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 Hajime, Yajima Hidenobu, Sugimura Kazuyuki, Hosokawa Takashi, Omukai Kazuyuki, Matsumoto Tomoaki	4. 巻 497
2. 論文標題 Star cluster formation and cloud dispersal by radiative feedback: dependence on metallicity and compactness	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 3830 ~ 3845
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2062	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 Arata Shohei, Yajima Hidenobu, Nagamine Kentaro, Abe Makito, Khochfar Sadegh	4. 巻 498
2. 論文標題 Starbursting [OIII] emitters and quiescent [CII] emitters in the reionization era	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 5541 ~ 5556
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2809	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 Inoue Shigeki, Yoshida Naoki, Yajima Hidenobu	4. 巻 498
2. 論文標題 The CO universe: modelling CO emission and H2 abundance in cosmological galaxy formation simulations	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 5960 ~ 5971
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa2744	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 Arata Shohei, Yajima Hidenobu, Nagamine Kentaro	4. 巻 475
2. 論文標題 Gas clump formation via thermal instability in high-redshift dwarf galaxy mergers	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 4252 ~ 4262
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty122	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 Yajima Hidenobu, Sugimura Kazuyuki, Hasegawa Kenji	4. 巻 477
2. 論文標題 Modelling of Lyman-alpha emitting galaxies and ionized bubbles at the epoch of reionization	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 5406 ~ 5421
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty997	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 Abe Makito, Yajima Hidenobu	4. 巻 475
2. 論文標題 Suppression of globular cluster formation in metal-poor gas clouds by Lyman radiation feedback	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters	6. 最初と最後の頁 L130 ~ L134
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnrasl/sly018	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 Abe Makito, Suzuki Hiroyuki, Hasegawa Kenji, Semelin Benoit, Yajima Hidenobu, Umemura Masayuki	4. 巻 476
2. 論文標題 seurat: SPH scheme extended with ultraviolet line radiative transfer	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 2664 ~ 2673
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty233	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 Hajime, Yajima Hidenobu, Omukai Kazuyuki	4. 巻 477
2. 論文標題 Condition for dust evacuation from the first galaxies	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 1071 ~ 1085
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty799	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 Sugimura Kazuyuki, Hosokawa Takashi, Yajima Hidenobu, Inayoshi Kohei, Omukai Kazuyuki	4. 巻 478
2. 論文標題 Stunted accretion growth of black holes by combined effect of the flow angular momentum and radiation feedback	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 3961 ~ 3975
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty1298	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 Kubota Kenji, Yoshiura Shintaro, Takahashi Keitaro, Hasegawa Kenji, Yajima Hidenobu, Ouchi Masami, Pindor B, Webster R L	4. 巻 479
2. 論文標題 Detectability of the 21-cm signal during the epoch of reionization with 21-cm Lyman emitter cross-correlation - I	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 2754 ~ 2766
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty1471	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 Tanaka Toshiyuki, Hasegawa Kenji, Yajima Hidenobu, Kobayashi Masato I N, Sugiyama Naoshi	4. 巻 480
2. 論文標題 Stellar mass dependence of the 21-cm signal around the first star and its impact on the global signal	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 1925 ~ 1937
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty1967	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 Yajima, Hidenobu; Nagamine, Kentaro; Zhu, Qirong; Khochfar, Sadegh; Dalla Vecchia, Claudio	4. 巻 846
2. 論文標題 Growth of First Galaxies: Impacts of Star Formation and Stellar Feedback	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 30-42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa82b5	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 Yajima, Hidenobu; Ricotti, Massimo; Park, KwangHo; Sugimura, Kazuyuki	4. 巻 846
2. 論文標題 Dusty Gas Accretion onto Massive Black Holes and Infrared Diagnosis of the Eddington Ratio	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 3-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa8269	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 Sugimura, Kazuyuki; Hosokawa, Takashi; Yajima, Hidenobu; Omukai, Kazuyuki	4. 巻 469
2. 論文標題 Rapid black hole growth under anisotropic radiation feedback	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 62-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stx769	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23件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 7件)

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 原始銀河団領域における巨大ブラックホール形成
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 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 数値シミュレーションで探る宇宙再電離期の銀河、原始銀河団、クエーサー
3. 学会等名 SKA-Japan シンポジウム2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 数値シミュレーションで探る大域的輝線マップと銀河形成の関係
3. 学会等名 面分光研究会2019-新面分光装置で花開く新しいサイエンス-
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 原始銀河団領域における銀河と巨大ブラックホールの形成
3. 学会等名 初代星・初代銀河研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Cosmological simulations of galaxy formation at the epoch of reionization
3. 学会等名 国立天文台科学研究部研究会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Cosmological simulations of first galaxies and first star clusters
3. 学会等名 Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, Area workshop 2020 Winter
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Formation of dusty starburst galaxies in cosmological simulations with radiative transfer
3. 学会等名 ALMA workshop: The blind search for hidden galaxies in an abundant line of sight (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 銀河形成研究(理論)のレビュー
3. 学会等名 銀河銀河間ガス研究会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Cosmological simulations of dusty galaxy formation in protocluster regions
3. 学会等名 East Asia ALMA Science Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Panchromatic study of the first galaxies in cosmological simulations
3. 学会等名 IAU Symposium 341, PanModel 2018: Challenges in Panchromatic Galaxy Modelling with Next Generation Facilities (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Cosmological simulations of galaxy formation in protocluster regions
3. 学会等名 FAPESP-Japan workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 高密度領域で形成される初代銀河からのライマンアルファ輝線放射
3. 学会等名 日本天文学会秋期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 宇宙再電離期の原始銀河団形成
3. 学会等名 銀河進化と遠方宇宙
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 初期宇宙におけるサブミリ波銀河と超巨大ブラックホールの共進化
3. 学会等名 呉AGN研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 Cosmological simulations of first galaxy formation: Impacts of population III stars
3. 学会等名 Gravitational Wave Physics and Astronomy : Genesis The Second Annual Area Symposium (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hidenobu Yajima
2. 発表標題 大規模数値シミュレーションで探る吸収線系と銀河進化
3. 学会等名 Cosmic Shadow 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢島秀伸
2. 発表標題 Formation of protocluster regions in cosmological simulations
3. 学会等名 J-G workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢島秀伸
2. 発表標題 Formation of Lyman-alpha emitting galaxies in overdense regions at the epoch of reionization
3. 学会等名 Tokyo Spring Cosmic Lyman-Alpha Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢島秀伸
2. 発表標題 再電離期の星・銀河形成、LAE電離バブルのモデル
3. 学会等名 MWA workshop
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 杉村和幸
2. 発表標題 ダストに覆われた巨大ブラックホールの成長過程
3. 学会等名 天文学会秋期年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢島秀伸
2. 発表標題 原始銀河団における銀河進化と星形成史
3. 学会等名 天文学会春期年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢島秀伸
2. 発表標題 宇宙初期のダストに覆われた星形成銀河
3. 学会等名 初代星初代銀河研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢島秀伸
2. 発表標題 銀河形成シミュレーションにおけるガス・星形成・フィードバックの物理
3. 学会等名 第4回銀河進化研究会（招待講演）
4. 発表年 2017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		
スペイン	カナリア天体物理学研究所		