

### III. 宇宙物理研究部門

#### 1. メンバー

教授	梅村 雅之	
教授	大須賀 健	
准教授	森 正夫	
准教授	矢島 秀伸	
講師	吉川 耕司	
助教	Wagner Alexander	
	古家 健次	
研究員	田中 賢	(HPCI 重点)
	高水 裕一	(CCS)
	福島 肇	(ポスト京萌芽)
	安部 牧人	(計算メディカルサイエンス)
	朝比奈 雄太	(CCS)
	井上 茂樹	(ALMA 共同科学研究事業)
	五十嵐 朱夏	(数理物質科学研究科)
学生	大学院生 15 名	
	学類生 7 名	

#### 2. 概要

本年度、当グループは、ブラックホール降着円盤からの熱・輻射円盤風の研究、低赤方偏移銀河間物質における初代星起源金属汚染、強磁場中性子星への超臨界降着柱の理論モデルの構築、M31 恒星ストリームと暗黒物質サブハローの相互作用、周期的な超新星フィードバックによる Ultra-diffuse galaxy の形成、銀河衝突シミュレーションで探る Milky Way disk の進化シナリオ、初代銀河からの金属輝線放射、大質量星近傍の円偏光場生成メカニズム、低金属ガス雲における星団形成過程、宇宙大規模構造形成に対するニュートリノの力学的影響、重元素の超微細構造線を用いた中高温銀河間物質の検出可能性、AGN feedback: The interactions of AGN radiation, jets and winds with the host galaxy, ガスト成長を考慮した原始惑星系円盤の化学進化、星形成領域における水の重水素濃縮度を行った。また、宇宙生命計算科学連携として、星間空間のキラル有機分子の鏡像異性体過剰を引き起こす円偏光波生成の研究、原始太陽系におけるガスト成長過程の研究を行った。計算コード開発としては、スーパーコンピュータ富岳を用いた Vlasov シミュレーションの最適化、スーパーコンピュータ富岳における重力多体計算ライブラリ Phantom-GRAPE の開発、ボルツマン法に基づく一般相対論的輻射磁気流体力学計算コード INAZUMA の開発、一般相対論的偏光輻射輸送計算コードの開発を行った。

#### 3. 研究成果

##### 【1】 ブラックホール降着円盤からの熱・輻射円盤風の研究

ブラックホールが存在すると考えられている有力な天体が X 線連星である。コンパクトな領域から強力な X 線放射が発せられるという性質が、ブラックホール周囲の降着円盤理論でよく説明できるからである。しかし、X 線の放射メカニズムについてはまだよくわかっていない。特に、青方偏移した鉄の吸収線の存在は、およそ数百 km/s でガスが噴出していることを示唆しているが、その起源および加速機構は問題視されている。

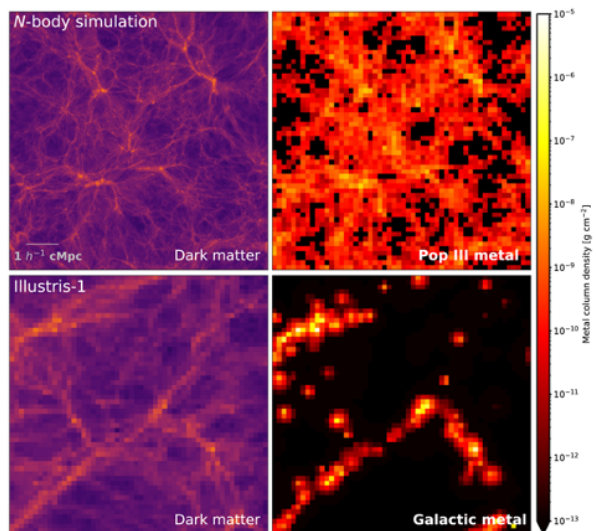
そこで本研究では、降着円盤の内縁付近で発せられた X 線が、比較的遠方の円盤に入射することで生じる円盤風を、輻射流体力学シミュレーションで調べた。その結果、ガス圧と輻射圧によって円盤風が噴出することがわかった。X 線はガスを加熱して圧力を増加させつつ、ライン吸収によって直接ガスを加速するからである。このモデルによる円盤風は噴出速度だけでなく、鉄の電離度も観測と合致することがわかった。

## 【2】 低赤方偏移銀河間物質における初代星起源金属汚染

重元素を含まない初代星である Pop III 星は、理論的にその存在が予言されてきたが、現在これを直接観測する方法はない。Pop III 星として、 $0.8M_{\odot}$  以下の星が生まれたとすれば、現在銀河に残っている可能性があり、超低金属星を探す試みがなされている。

もう一つの、間接的証拠として考えられるのは、大質量 Pop III 星が超新星爆発で放出する重元素を、Pop I, II 星起源の重元素と区別することである。Pop III 星は、赤方偏移 15 以上の初期宇宙で誕生するため、Pop III 起源の重元素は、銀河間空間にも存在している可能性がある。これを調べるために、我々は Pop III 星形成モデルを組み込んだ宇宙論的 N 体計算により、 $z \sim 3$  の IGM における Pop III 起源の重元素汚染を調べた。

シミュレーションの結果を右図に示す。左上がダークマター分布、右上が Pop III 起源の重元素、左下が Illustris-1 のダークマター分布、右下が銀河起源 (Pop I, II 星起源) の重元素分布である。この図から分かる通り、Pop III 起源の重元素は、銀河起源の重元素に比べて、より低密度の IGM で支配的になる。このとき、Pop III 起源の重元素量は、太陽組成の  $10^{-5}$  から  $10^{-2}$  の範囲となる。



## 【3】 強磁場中性子星への超臨界降着柱の理論モデルの構築

超高光度 X 線源 (ULX) の中心天体がブラックホールなのか中性子星なのか、未だ結論が出ていない。しかし、X 線パルスが検出されたため、少なくとも幾つかの ULX の中心天体が磁化した中性子星であると考えられるようになった。ガスが磁極へ落下することで X 線を発する降着柱が形成され、中性子星の自転によってパルス放射が説明できるからである。比較的弱い磁場を持つ中性子星へのガス降着は、我々が既に輻射流体力学シミュレーションで解明した (Kawashima et al. 2016) が、強磁場中性子星の場合についてはまだ調べられていない。そこで我々は、従来のモデルを発展させ、強磁場中性子星の降着柱の輻射流体力学シミュレーションを実施した。その結果、強磁場の場合でも超臨界降着柱 (降着率がエディントン限界を超える降着柱) が準定常的に存在可能であることがわかった。そして、弱磁場の場合と異なり、強磁場中性子星の降着柱の内部は多数の細い流れに分裂し、降着する流れと噴出する流れがすれ違うような構造になることを見出した。降着柱側面の光度はエディントン光度を大幅に超えるため、ULX の有力モデルであることがわかった。

## 【4】 M31 恒星ストリームと暗黒物質サブハローの相互作用

本研究では、M31 のハロー領域に存在する恒星ストリームである North-Western (NW) ストリームに注目し、NW ストリームと DM サブハローの近接遭遇時の痕跡を理論・観測両側から調べることで、DM サブハ

ロー数の評価を目指している。我々は NW ストリームに注目した研究に継続的に取り組んでおり、NW ストリームの 3 次元構造を N 体計算を用いて再現済みである (Kirihara et al. 2017; Komiyama et al. 2018)。今年度、我々は NW ストリームと DM サブハローの衝突実験を N 体計算を用いて遂行し、DM サブハローの質量が  $10^9 M_{\odot}$  程度以上の近接遭遇時には位相空間上に明確な痕跡が残ることが分かった。すばる望遠鏡に搭載される Prime Focus Spectrograph (PFS) は、広視野をカバーした上で 2400 天体の視線速度を同時観測できるように位相空間上の構造探査に適しており、DM サブハローと NW ストリームの近接遭遇の痕跡検出に威力を発揮すると期待できる。また近接遭遇後の長時間進化計算により、衝突時に形成されたギャップが大きく成長する、潮汐相互作用によって形成された DM ストリームと NW ストリームの相互作用の痕跡が残ることも分かった。

## [5] 周期的な超新星フィードバックによる Ultra-diffuse galaxy の形成

Ultra-diffuse galaxy (UDG) は van Dokkum et al. (2015) によって、これまでにない新しい種族の銀河として発見された。その特徴は表面輝度が矮小銀河程度で低いものに対して、半光度半径が天の川の円盤程度と大きいことである。銀河天文学の研究者による精力的な観測により、すでに 1000 以上の UDG が検出されているが、その形成過程の理論的理解は未だ途上である。そのような中で、Di Cintio et al. (2017) は宇宙論的な流体シミュレーションを用いて UDG の形成過程に関する研究を行い、UDG のような星分布が広がった系の形成にはガスのアウトフローが重要であり、UDG は矮小銀河の一種であることを示唆をした。しかし彼らの研究は、その物理過程の詳細に関しては議論しておらず、現象論的な理解でとどまっている。本研究ではこの結果を踏まえて、周期的な超新星フィードバックによるガスのインフローとアウトフローによって、UDG が形成される物理的な条件や過程に着目して研究を行った。Dark matter halo と星で作られた系に、周期的な超新星フィードバックによるガスのインフローとアウトフローに対  $b$  したポテンシャル変動を外場として加えて、N 体シミュレーションを実行した。その結果、フィードバックによって星分布が時間とともに膨張する物理過程を明らかにした。さらに、UDG における半光度半径や質量-光度比のような典型的な特徴を再現し、その形成条件に一定の知見を得ることに成功した。本研究の結果は、周期的な超新星フィードバックによるガスのインフローとアウトフローが UDG の形成に決定的な役割を果たすことを示している。

## [6] 銀河衝突シミュレーションで探る Milky Way disk の進化シナリオ

近年の観測的研究により、私たちの住んでいる Milky Way (MW) に massive satellite galaxy が約 10 Gyr 前に衝突したことが示唆され、その衝突した satellite は Gaia Enceladus と名付けられた (Chiba & Beers, 2000; Gaia Collaboration et al., 2018)。この衝突が MW の stellar halo と thick disk の形成に大きく寄与していると考えられている。我々は、 $\Lambda$  Cold Dark Matter モデルに基づく宇宙論的 N 体シミュレーションの結果を初期条件に採用し、また質量分解能を統一したモデルで、satellites と MW disk との相互作用による satellite の破壊や MW disk のバックリアクション及び thick disk の形成について調べた。その結果、宇宙論的シミュレーションのデータでは MW 中心に接近する satellites が少なく、先行研究が、衝突する satellites の数を過大評価していることがわかった。また less massive satellite の多重衝突のみでは、thin disk から thick disk への有効な遷移を見いだすことができなかった。そして、thick disk 形成のためには、質量  $\sim 10^{10} M_{\odot}$  程度の massive satellite の衝突が有効に働くことがわかった。さらに、観測で示唆されるような厚み ( $\sim 1$  kpc) の thick disk を再現するためには、massive satellite が銀河中心付近 ( $\leq 10$  kpc) に衝突する必要があることを明らかにした。

## 【7】 初代銀河からの金属輝線放射

近年アルマ望遠鏡によって多数の遠方銀河が観測された。特に、一部の銀河は強い酸素（88 ミクロン）や炭素（158 ミクロン）の輝線を放射している。これらの輝線を検出する事で、銀河の赤方偏移が確定し、ガスダイナミクスの研究が可能となりつつある。しかしながら、初代銀河と呼ばれる遠方銀河が、どのような物理状態の時に酸素や炭素の輝線を効率良く放射するかは分かっていない。本研究では宇宙論的流体計算によって、初代銀河の形成、超新星爆発による金属放出、輸送過程を調べた。そして、輻射輸送計算によって、水素、酸素の電離構造、及び準位分布を詳細に計算した。これにより、初代銀河の進化とともに酸素、炭素放射をモデル化する事に成功した。結果として、スターバーストが起きる際に大量のガス、金属が星形成領域に蓄積し、強い酸素輝線が放射される事が分かった。その後、超新星爆発によって周囲のガスが銀河風として噴出すると、電離光子が脱出するため酸素輝線は急激に小さくなる。スターバーストの際の酸素の光度は  $10^{42}$  erg/s に達し、アルマ望遠鏡で観測された銀河の光度を再現する事が分かった (Arata, Yajima, et al. submitted)。一方で、炭素の輝線は主に銀河円盤から放射されるため、超新星爆発によるアウトフローフェイズでも、炭素の輝線光度はあまり減少しないことが分かった。

## 【8】 大質量星近傍の円偏光場生成メカニズム

星形成領域では、しばしばパーセクスケールに渡った近赤外線円偏光場が観測されている。星間空間の円偏光は、生体内のアミノ酸ホモキラリティとの関係が示唆されており、生命の起源を調べる上で重要である。特に、光度が大きい大質量星付近で 10% を超える強い円偏光場がいくつか報告されている (Kwon et al. 2016)。しかしながら、このような強い円偏光場の生成メカニズムは全く分かっていない。我々はモンテカルロ法に基づいた輻射輸送計算に、散乱の際の線偏光、円偏光（ストークスパラメータ）の変化率の計算を導入し、大質量星付近の円偏光場を計算した。計算設定としては、星付近に扁平したダストが整列しているスラブを考えた。結果として、ダストサイズが 1 ミクロンメートル程度に大きい場合に、10% を超える強い円偏光場が生成される事が分かった (Fukushima, Yajima, Umemura, submitted)。ダストサイズが大きい場合は、ダスト内部での散乱位置の違いにより大きい位相差を作る事が出来るため、1 回の散乱で円偏光度が数十 % を超える事が可能となる。近年の電波観測でも、大質量星付近にミクロンサイズのダストが存在することが示唆されており、本研究のモデルと整合的である。

## 【9】 低金属ガス雲における星団形成過程

近傍の銀河では、散開星団や重力的に束縛されたコンパクトな球状星団など、多種多様な星団が存在する。これらの多様性は、星団が作られる分子雲の物理状態に起因していると考えられているが、分子雲内での星団形成メカニズムは未だ良く分かっていない。近年の観測によって、星団形成、分子雲の破壊は星からの紫外線輻射によるフィードバックが支配的である事が示唆された (Kruijssen et al. 2019)。したがって、本研究では適合格子細分化法を用いた流体計算により、分子雲スケールから分子雲コアまでを同時に分解しつつ、多数の大質量星の輻射フィードバックを考慮した星団形成シミュレーションを行った。結果として、分子雲がコンパクトかつ金属度が大きい場合に星団の形成効率が大きくなる事が分かった (Fukushima, Yajima, et al. submitted)。これは、ダストによる紫外線遮蔽、金属冷却による電離ガスの温度の低下によって、分子雲への輻射フィードバックが弱まるためである。また、低金属ガス雲では、紫外線によって CO 分子形成が阻害され、ほとんどのガスは原子の状態に居続ける事が分かった。

## 【10】 宇宙大規模構造形成に対するニュートリノの力学的影響

ブラソフ方程式の直接数値シミュレーションを用いて、質量を持つニュートリノの宇宙大規模構造形成に対する影響の研究を行った。2019年度は、これまでの計算ではCDMの重力計算をParticle-Mesh法という空間分解能が劣る手法で計算せざるを得なかったが、これをTreePM法という空間分解能の良い手法で計算できるように改良し、ダークマターハローの同定や空間分布の精度を大幅に改善したシミュレーションを行った。今後はこのデータを用いて、ニュートリノとダークマターの相対速度に起因するニュートリノ航跡がどのようにダークマターハローや銀河の分布に影響するかを調査する。

## 【11】 重元素の超微細構造線を用いた中高温銀河間物質の検出可能性

現在の宇宙のバリオンの大半は、希薄で温度が $10^5$ から $10^7$  K程度の銀河間ガスの状態で存在していることが知られている。これらの銀河間ガスは宇宙の質量の大半を占めるダークマターの分布の良いトレーサーであると考えられているが観測手段が極めて限られており、現在のところX線で明るく輝く天体と我々の間にある銀河間ガスをその影として検出することしかできていない。本研究では、銀河間ガスの新たな観測手段として銀河間ガスに含まれる重元素(窒素)の超微細構造線を用いることを提案し、宇宙論的構造形成シミュレーションによってこの手法による銀河間ガスの観測可能性を輻射輸送方程式を解くことで調査した。その結果、銀河間ガスのうち銀河群や銀河団の外縁部や宇宙大規模構造のフィラメント中心部に存在する成分についてはこの手法で観測可能であることが分かった。

## 【12】 AGN feedback: The interactions of AGN radiation, jets and winds with the host galaxy

The supermassive black holes in the centers of galaxies accrete gas and launch jets, fast winds, or emit copious amounts of radiation. The jets, winds, and radiation may impact the gas in host galaxy on scales ranging from fractions of parsecs to hundreds of kiloparsec. This cycle of matter and energy affects the evolution of galaxies and is termed the “feedback cycle of galaxy formation”. It leads to a regulated history of star-formation, evidenced through the luminosity functions of galaxies, and to the co-evolution of the central supermassive black hole and the galaxy, evidenced through the scaling relations such as the Magorrian relation. We are pursuing a numerically intensive project running 3-dimensional relativistic hydrodynamic and radiation-hydrodynamic simulations with multiphase gas aimed at elucidating the physics of the mass and energy transfer in the feedback cycle and the effects of jets, winds, and radiation on star-formation and black hole accretion. In recent work we have: 1) carried out a multi-wavelength study of the  $z = 0.025$  Compact Steep Spectrum radio source hosted by the early-type galaxy UGC 05771, to investigate jet-ISM interactions in a galaxy with a young radio source. The jet is likely accelerating shocked molecular and ionized gas outwards at low velocities, creating a “stalling wind”. The star-formation rate is also somewhat reduced, possibly due to the jet-ISM interactions, as our numerical modelling suggest (Zovaro et al, including Wagner 2019); 2) performed high-resolution simulations of wind-cloud interaction involving a collection of clouds being swept up by a shock. We followed the fragmentation, compression, destruction, and mixing of turbulent clouds embedded in a fast astrophysical flow. The work uncovered the very differing of evolution of turbulent clouds dominated by solenoidal modes, and those dominated by compressive modes, and uncovered a strong dependencies on porosity (Banda-Barragán, including Wagner, 2020); 3) performed VLA and EVN HI absorption observations, modelling, and comparison with molecular gas data of the radio source B2 0258+35, which suggest that the cold gas in the centre of its host NGC 1167 is very turbulent and that this turbulence

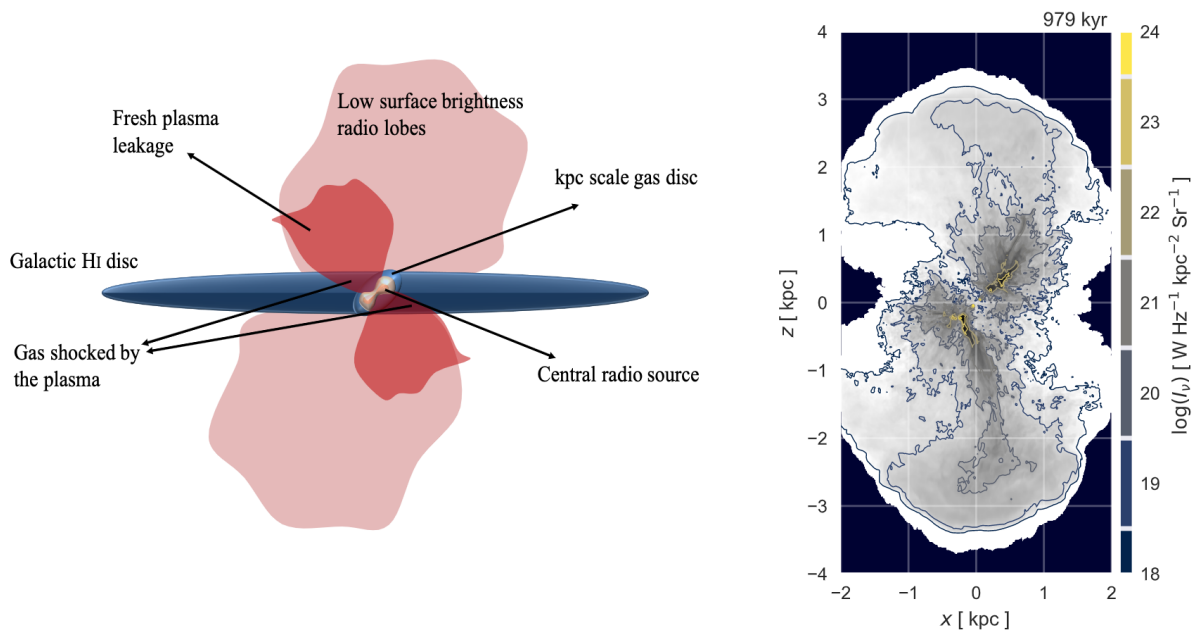


図1 The small and large scale structures of the jet in B2 0258+35/NGC

is induced by the interaction of the jets with the interstellar medium. The ionised gas in the galaxy shows evidence of shock heating at a few kpc from the radio source. The results are consistent with our numerical simulations of radio jets expanding into a clumpy gas disc, which predict that the jets percolate through the gas disc and drive shocks into the ISM at distances much larger than their physical extent (See Fig. 1).

### 【13】 ダスト成長を考慮した原始惑星系円盤の化学進化

原始惑星系円盤は惑星形成の現場である。円盤内の固体粒子（ダスト+氷）やガスは惑星の材料物質であり、それら材料物質の分子組成が、やがて形成される惑星の組成を決める。近年の ALMA による観測から、ダスト成長が円盤内の揮発性物質分布に大きな影響を与えることが示唆されているが、その詳細は観測的にも理論的にもよく分かっていない。本年度は主に、昨年度開発したダスト成長モデルとガス・固相化学反応モデルをカップルした数値計算コードを用い、原始惑星系円盤内の分子組成分布とその時間発展を調べた。その結果、円盤内の分子分布は、大きく成長した氷ダストの中心星方向への移動、氷の昇華、一酸化炭素 (CO) を他分子へと変換する化学反応の3つのプロセスの競合でおおよそ決まることを明らかにした。この結果を基に、観測から導出された CO 雪線内側の CO 分子存在量とモデルの予測を比較することで、TW hya 円盤の重要な物理パラメータ (氷ダストの衝突破壊速度と宇宙線電離率) に制限を加えた。

### 【14】 星形成領域における水の重水素濃縮度

水の重水素濃縮度 ( $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  比) は、星惑星形成に伴う水の進化や太陽系の水の起源を探る強力なツールである。これまでの観測から、分子雲複合体中の原始星天体の  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  比は太陽系の彗星のそれと同程度なことが知られている。星形成領域における  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  比の環境依存性を探るため、分子雲複合体に付随しない孤立した原始星天体について HDO と  $\text{H}_2^{18}\text{O}$  の観測を ALMA を用いて行った。その結果、分子雲複合体中の原始星天体に比べ、孤立した原始星天体では  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  比が2倍程度高いことが分かった。孤立した天体は近傍の星形成の影響を受けないため、星形成のタイムスケールが長いこと、分子雲コア時代の温度がより低いことの2点が原因として考えられる。

【15】 星間空間のキラル有機分子の鏡像異性体過剰を引き起こす円偏光波生成の研究（宇宙生命計算科学連携）

星形成領域におけるダスト粒子光散乱による円偏光波生成過程について明らかにするため、「ストークルパラメータを含むモンテカルロ輻射輸送コードの開発」を行い、以下の3つの成果を得た。これによって、星形成領域で観測されている高円偏光波の生成機構についての理解が大きく進むとともに、アミノ酸のホモキラリティ生成を誘発する紫外線波長領域にも円偏光波が存在することを明らかにした。

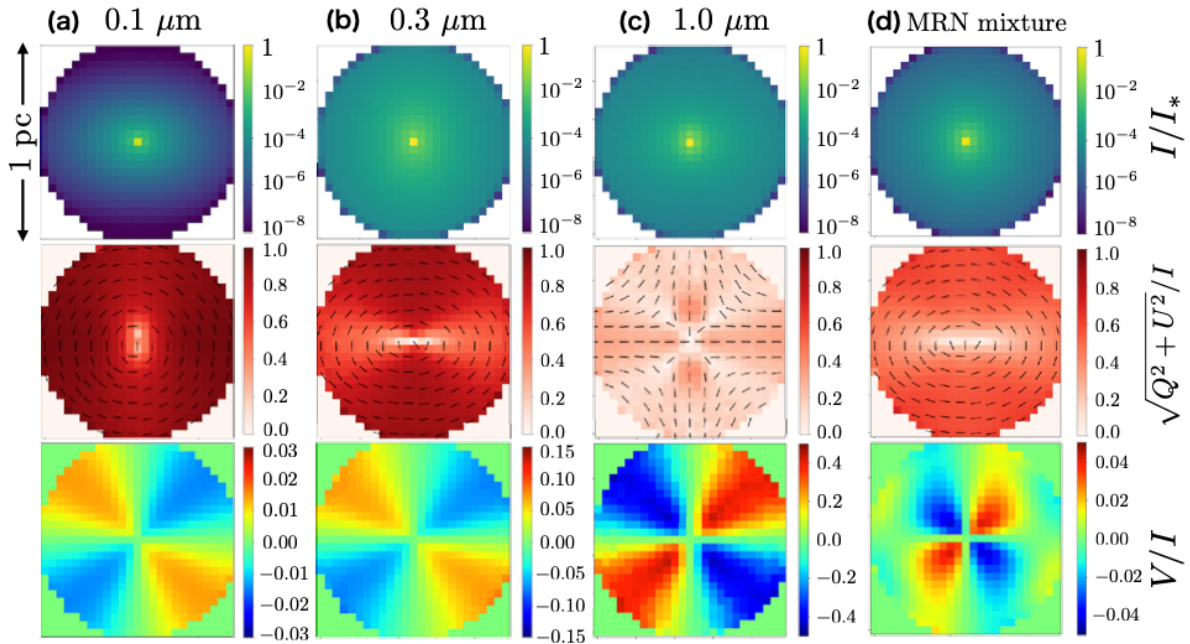


図2 単一ダストサイズ (0.1, 0.3, 1.0  $\mu\text{m}$ ) および MRN 分布のダストにおける、輝度 (上図) と線偏光度 (中図), 円偏光度 (下図)。1.0  $\mu\text{m}$  と MRN 分布の場合は小ダストサイズの場合と円偏光度分布の符号が入れ替わる。

A) ストークスパラメータを含むモンテカルロ輻射輸送コードの開発

扁球ダスト粒子による散乱過程を取り扱うために、散乱過程ごとに散乱行列 ( $4 \times 4$  行列) の全ての成分に起因するストークスパラメータの変化を計算する。扁球ダスト粒子では、ダスト短軸方向と光子進行方向によって散乱行列の値も変わるため、各散乱角にテーブルを容易する。これらを考慮したモンテカルロ輻射輸送計算コードを開発した。また、光散乱だけではなく光子吸収および熱放射の効果も含むコードの開発を行った。

B) 星形成領域における円偏光度の最大値とダストサイズの関係について

近赤外線観測によると、円偏光度は最大 20% に達し、光源となる星質量と相関があることが知られている。これが実現する条件を明らかにするため、開発したコードを用いて星形成領域について輻射輸送計算を行った。

今回は光源の周囲に光学的厚みが 1 となるようにダストシェルを配置し、単一ダストサイズ (0.1, 0.3, 1.0  $\mu\text{m}$ ) および MRN 分布の場合について調べた。

図 2 に示すように、円偏光度について観測で見られる四重極構造を再現することに成功した。小サイズダスト (0.1, 0.3  $\mu\text{m}$ ), MRN 分布の場合には円偏光度は 10% にも到達しないことがわかった。一方、1.0  $\mu\text{m}$  の単一ダストの場合には円偏光度は 40% まで到達し、高円偏光波が生成されていることがわかった。このことが

ら、より質量が大きい星の周囲ではダスト成長が促進され、マイクロサイズのダストが支配的な環境が実現され、結果として高円偏光度で観測されている可能性を提唱した。

C) 星形成領域に紫外線波長における円偏光波の存在可能性について

紫外線における円偏光波は、円二色性によりアミノ酸の鏡像異性体過剰を誘発する。一方、宇宙空間では近赤外線波長の円偏光波しか観測されておらず、紫外線波長で存在するかは謎であった。今回は、B)と同様の設定で、ダストサイズがMRN分布の場合に紫外線(121.6 nm)と近赤外線(2.14 μm)波長について計算を行い、両波長での円偏光度について調べた。図3に両波長における円偏光度のダストシェルでの分布をしめす。この場合赤外線波長では、円偏光度は3%程度であるのに対し紫外線波長では最大30%に達することがわかった。このため、赤外線波長で円偏光波が存在する領域では、紫外線波長についてもより強い円偏光波が存在することを明らかにした。

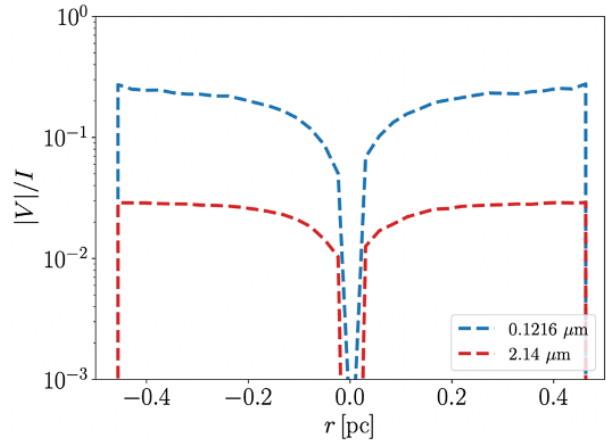


図3 ダストシェルの45度方向における円偏光度分布の半径依存性。青線、赤線は紫外線(121.6 nm)と近赤外線(2.14 μm)波長の場合を示す。

【16】 原始太陽系におけるダスト成長過程の研究 (宇宙生命計算科学連携)

原始太陽系円盤の最小質量モデルに従えば、円盤内の乱流の局所平均マッハ数は、0.01 から 0.32 の範囲になる。局所平均マッハ数が、1 より十分に小さいことから、これまで原始太陽系円盤の流体計算は、非圧縮を仮定して行われることが多かった。しかし、これまでの計算はほとんどがオイラー方程式を扱うものであり、ナビエ・ストークス方程式を解いた場合に、圧縮性の効果がどのように現れるかは明らかにされてこなかった。我々は、ナビエ・ストークス方程式の直接数値計算を行い、非圧縮性及び圧縮性乱流場の違いがレイノルズ数にどのように依存するかを明らかにし、この中で慣性粒子の振る舞いを調べることで、非圧縮性及び圧縮性乱流場中のダストの衝突付着の比較を行った。

A) 非圧縮性及び圧縮性乱流場のレイノルズ数依存性

圧縮性乱流の直接数値計算における外力項の取り扱い方の見直しを行い、乱流場の圧縮性の強さをより細かく制御することが可能になった。これによって、圧縮性乱流場の統計的な準定常性を向上させることが可能となり、信頼性の高い結果による比較が実現した。

これを用いて、右表に示すようなモデルで、非圧縮性乱流場と圧縮性乱流場との比較を行った。モデル名で、Iは非圧縮性流体計算、Cは圧縮性流体計算、1次元方向のメッシュ数、マッハ数を表す。また、圧縮性散逸とsolenoidal散逸の小さなものを“w”、大きなものを“s”、圧縮性散逸がないものを“n”としている。図4(上段)に、計算の結果得られた速度divergence分布関数のレイノルズ数依存性を示す。マッハ数が大きくなるにつれて、速度divergenceの裾野が広がることは予想通りであるが、レイノルズ数が大きくなっても裾野は広がっていく。これにより、図4(下段)に見る通り、マッハ数が1を超える弱い衝撃波領域が現れる。このことは、慣性が小さい粒子の衝突付着の統計がわずかに影響を

Run	$N^3$	$Re$
I256	$256^3$	933
C256-0.1n		931
C256-0.1w		1047
C256-0.3w		957
C256-0.3s		1062
I512	$512^3$	2256
C512-0.1w		2375
C512-0.3w		2859
C512-0.3s		2775
I1024	$1024^3$	6128
C1024-0.3s		5685



受けること、及び、慣性の大きい粒子においても衝突速度分布がわずかに変化し、付着率が若干高まることが明らかとなった。

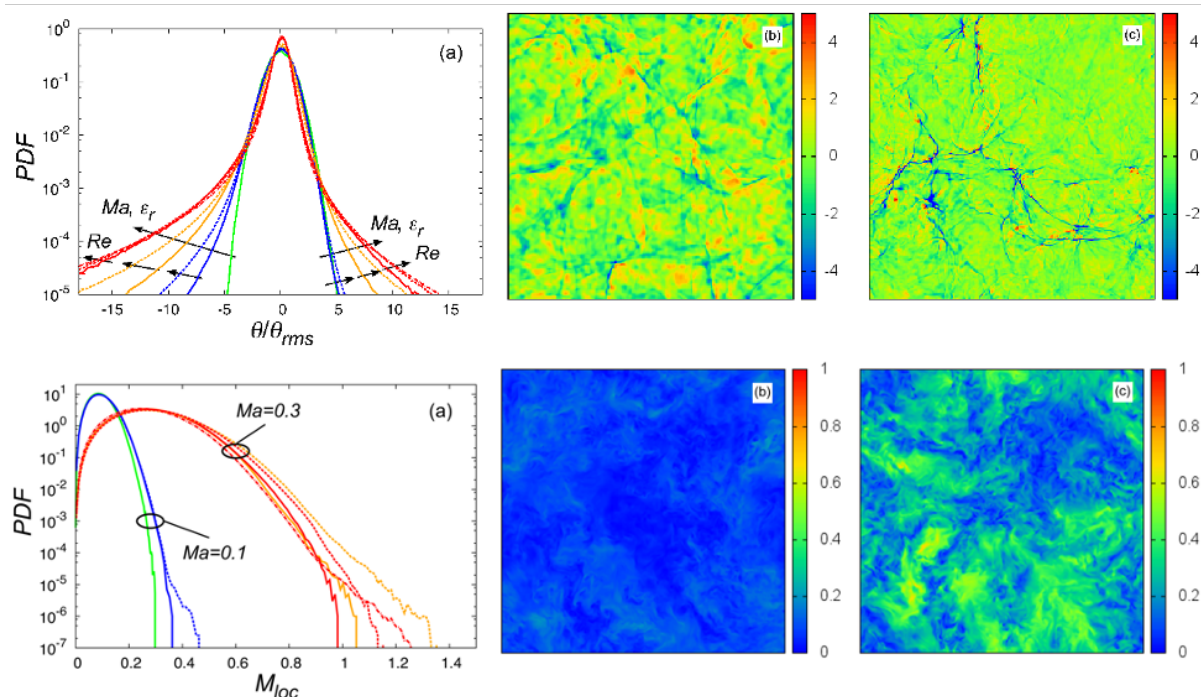


図4 上段左は、速度 divergence 分布関数のレイノルズ数依存性。上段 (b) はモデル C512-0.1w, (c) はモデル C512-0.3s の密度分布。下段左は、局所マッハ数分布関数のレイノルズ数依存性。下段, (b) はモデル C512-0.1w, (c) はモデル C512-0.3s のマッハ数空間分布。

## B) 非圧縮性及び圧縮性乱流場中のダストの衝突付着の比較

図5に、非圧縮性及び圧縮性乱流場中に置かれたダスト粒子の衝突付着確率の結果を示す。この結果は、衝突付着確率はレイノルズ数および圧縮性に依存し、レイノルズ数が大きくなると衝突付着確率が小さくなること、圧縮性の影響を受けて衝突付着確率が若干大きくなることを示す。よって、これまで行われてきた、非圧縮の取り扱い、ダスト粒子の衝突付着確率については概ね妥当だと結論される。ただし、弱い衝撃波領域が現れる場合には、慣性が小さい粒子の衝突付着の統計がわずかに影響を受けること、及び、慣性の大きい粒子においても衝突速度分布がわずかに変化し、付着率が若干高まることが明らかとなった。

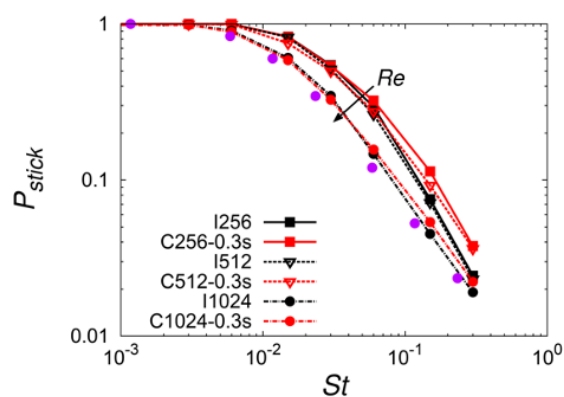


図5 圧縮性乱流場中のダスト粒子付着確率のレイノルズ数依存性と非圧縮性乱流場中のダスト粒子付着確率との比較

## 【17】 スーパーコンピュータ富岳を用いた Vlasov シミュレーションの最適化

スーパーコンピュータ京の後継機として開発されたスーパーコンピュータ富岳において、ニュートリノの分布関数の時間発展を記述するブラソフ方程式を直接数値シミュレーションする Vlasov シミュレーションの最適化を行った。スーパーコンピュータ富岳では ARMv8-A アーキテクチャに基づく A64FX プロセッサを採

用しており、Vlasov シミュレーションにおける移流方程式の数値計算を、このプロセッサで実装されている Scalable Vector Extension (SVE) という SIMD 命令を用いた最適化を行った。その際、メモリアドレスの連続領域に沿った方向の移流に関してはデータの並べ替えを行う必要があり SIMD 命令の効率的な実行が困難であるが、データの並べ替えを SIMD レジスタ上で極めて高速に行う Load And Transpose (LAT) 法を開発し最終的にソケット当たり約 800Gflops という性能を達成することができた。

#### 【18】 スーパーコンピュータ富岳における重力多体計算ライブラリ Phantom-GRAPE の開発

スーパーコンピュータ京の後継機として開発されたスーパーコンピュータ富岳において、重力多体シミュレーションで大きな計算コストを占める粒子間相互作用計算を SIMD 命令を用いて高速化した数値計算ライブラリ Phantom-GRAPE を開発した。Phantom-GRAPE は従来から Intel 社や AMD 社の開発する x86 系プロセッサに対応してきたが、スーパーコンピュータ富岳で採用された A64FX プロセッサで実装されている SIMD 命令に対応した。その結果、コアあたり  $1.2 \times 10^9$  [interaction/sec] という x86 系プロセッサと遜色ない性能を達成することができた。

#### 【19】 ボルツマン法に基づく一般相対論的輻射磁気流体力学計算コード INAZUMA の開発

ブラックホールや中性子星の周囲の構造を調べるためには、一般相対論、輻射輸送、磁気流体力学を全て加味した一般相対論的輻射磁気流体力学 (GR-RMHD) 計算が必要となる。GR-RMHD 計算は近年ようやく可能となったが、そのほとんどは M1-closure 法に基づいて輻射場を解いている。この場合、輻射場の非等方性を正しく扱うことができないという問題が生じる。そこで本研究では、輻射輸送方程式を解くことで、輻射 intensity の角度分布からエディントンテンソルを求める手法を開発した。これにより、輻射場の非等方性をより正確に扱うことが可能となった。実際、幾つかのテスト計算で M1 方よりも明らかに正しい結果を示した。また、エネルギー方程式とエントロピー式を組み合わせることで安定性を向上させ、陽解法と陰解法を巧みに組み合わせることで精度を向上させた。

#### 【20】 一般相対論的偏光輻射輸送計算コードの開発

ブラックホール周囲の降着円盤のシミュレーション結果と、イベント・ホライズン・望遠鏡等の観測結果を直接比較することは、円盤の構造やジェットのマニピュレーションを知る上で必要である。そこで必要となるのが、シミュレーションデータから、観測イメージやスペクトルを理論的に作り出す一般相対論的輻射輸送計算コードである。特に、イベント・ホライズン・望遠鏡による偏光観測が直前に迫っているため、偏光輻射輸送計算が重要視されている。そこで本研究では、ブラックホール周囲の曲がった測地線に沿って偏光輻射輸送計算が実現可能な、一般相対論的偏光輻射輸送計算コードを開発した。ブラックホールシャドウやジェットのイメージを、直線偏光や円偏光と合わせて予言することが可能となった。

## 4. 教育

### 【学位論文】

#### <修士論文>

##### 1. 細谷 亮太郎

Dusty-gas の輻射重力源への Hoyle-Lyttleton 降着; 輻射場の非球対称性と減光の効果

##### 2. 曾我 健太

輻射流体力学で探る原始銀河と AGN の共進化

3. 竹澤 多聞

銀河中心ガス円盤におけるブラックホール合体

4. 田崎 翼

2次元輻射輸送計算による光バイオイメージング法の開発

5. 中村 帆南

星形成領域における有機分子生成過程とキラリティ

6. 佐々木 竜志

銀河衝突シミュレーションで探る Milky Way disk の進化シナリオ

<学士論文>

1. 鈴見 祐悟

星間有機分子の生成過程について

2. 橋 拓海

原始惑星系円盤スペクトルのモンテカルロ輻射輸送シミュレーション

3. Xue YunFan

Dependence of the AGN Feedback Efficiency on the Wind Mach Number

4. 数野 優大

天の川銀河における Subhalo の衝突過程

【集中講義】

1. 大須賀健. 物理学特論2 「宇宙物理学における流体力学および輻射輸送・輻射流体力学の基礎」, 立教大学大学院. (期間中の3日間) . Dec. 2-9, 2019.

5. 受賞・外部資金・知的財産権等

【受賞】

1. 矢島 秀伸. 筑波大学若手教員奨励賞.

【外部資金】

<代表者>

- 基盤研究 (A) (一般) H31 年度~H35 年度: 梅村雅之  
「多重 AGN の統合研究で紐解く超巨大ブラックホールの起源」  
(H31 年度 930 万円/全体 3460 万円)
- 科学技術試験研究委託事業, H28 年度~H31 年度: 梅村雅之  
「ポスト京で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」萌芽的課題, 「太陽系外惑星 (第二の地球) の誕生と太陽系内惑星環境変動の解明 (生命を育む惑星の起源・進化と惑星環境変動の解明)」(サブ課題 D 原始太陽系における物質進化と生命起源の探求)  
(H31 年度 1,278 万円/全体 4,874 万円)
- 基盤研究 (C) (一般) H30 年度~H32 年度: 大須賀健

- 「輻射磁気流体力学計算と輻射スペクトル計算で解明する超高光度 X 線源の起源」  
(H31 度 90 万円／全体 290 万円)
- 基盤研究 (C) (一般) R1 年度～R3 年度：Wagner Alexander  
「Interstellar Turbulence by Supermassive Black-Hole Jets, Winds, and Radiation」  
(R1 度 100 万円／全体 260 万円)
  - 新学術領域研究 (研究領域提案型) H30 年度～H31 年度：大須賀健  
「連星ブラックホール形成の解明に向けた孤立ブラックホールの輻射磁気流体力学計算」  
(H31 度 80 万円／全体 170 万円)
  - 若手研究 (A) H29 年度～H32 年度：矢島秀伸  
「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」  
(H31 年度 360 万円／全体 1400 万円)
  - 新学術領域研究 (研究領域提案型) H30 年度～H31 年度：矢島秀伸  
「初代銀河と共存する初代星の形成メカニズムの研究」  
(H31 年度 100 万円／全体 200 万円)
  - ALMA 共同科学研究事業 (区分 A) H31 年度～H33 年度：矢島秀伸  
「ALMA 観測と数値シミュレーションの融合で解き明かす大規模構造，原始銀河団，サブミリ波銀河の階層的構造」  
(H31 年度 100 万円／全体 300 万円)
  - 新学術領域研究 (研究領域提案型) 公募研究 H30 年度～H31 年度：吉川耕司  
「Vlasov シミュレーションで迫るニュートリノの宇宙大規模構造形成への力学的影響」  
(H31 年度 117 万円／全体 221 万円)
  - 若手研究 (B) H29 年度～H31 年度：古家健次  
「星間雲から原始惑星系円盤に至る分子組成進化の理論的研究」  
(H31 年度 60 万円／全体 240 万円)
  - 若手研究 H30 年度～H33 年度：朝比奈雄太  
「宇宙ジェットの加速・収束・相互作用の統一的な数値実験による全容の解明」  
(H31 年度 50 万円／全体 200 万円)

#### <分担者>

- 基盤研究 (A) (一般) H27 年度～H31 年度：梅村雅之 (代表者：大内正巳)  
「すばる HSC と SDSS で探る宇宙論的スケールの物質循環」  
(H31 年度分担金 15 万円／分担金全体 67.5 万円)
- 基盤研究 (C) (一般) H28 年度～H31 年度：梅村雅之 (代表者：高橋労太)  
「一般相対論的 ART 法による超巨大ブラックホール形成と成長過程の研究」  
(H31 年度分担金 10 万円／分担金全体 60 万円)
- 基盤研究 (A) (一般) H29 年度～H33 年度：大須賀健 (代表者：大向一行)  
「理論シミュレーションで解明する巨大ブラックホールの起源」  
(H31 年度分担金 30 万円／分担金全体 195 万円)
- 基盤研究 (A) (一般) H27 年度～H31 年度：森正夫 (代表者：大内正巳)  
「すばる HSC と SDSS で探る宇宙論的スケールの物質循環」  
(H31 度分担金 40 万円／分担金全体 52.5 万円)
- 基盤研究 (A) H29 年度～H32 年度：矢島秀伸 (代表者：井上昭雄)  
「すばる狭帯域深宇宙探査で暴く宇宙再電離：CHORUS プロジェクト」

(H31 年度分担金 66 万円／分担金全体 280 万円)

- 基盤研究 (A) H30 年度～H34 年度：矢島秀伸（代表者：児玉忠恭）

「銀河形成の加速と減速を司る物理過程の実証的解明」

(H31 年度分担金 10 万円／分担金全体 40 万円)

- 科学技術試験研究委託事業，H27 年度～H31 年度：吉川耕司（代表者：青木慎也）

「ポスト京で重点的に取り組むべき社会的・科学的課題に関するアプリケーション開発・研究開発」

重点課題 9「宇宙の基本法則と進化の解明」

(サブ課題 C 大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明)

(H31 年度 732 万円／全体 3428 万円)

## 6. 研究業績

### (1) 研究論文

#### A) 査読付き論文

1. Suma Murthy, Raffaella Morganti, Tom Oosterloo, Robert Schulz, Dipanjan Mukherjee, et al. “Feedback from low-luminosity radio galaxies: B2 0258+35”. *A&A* 629, A58 (Sept. 2019), A58. DOI: 10.1051/0004-6361/201935931. arXiv: 1908.00374 [astro-ph.GA].
2. S. S. Jensen, J. K. Jørgensen, L. E. Kristensen, K. Furuya, A. Coutens, et al. “ALMA observations of water deuteration: a physical diagnostic of the formation of protostars”. *A&A* 631, A25 (Nov. 2019), A25. DOI: 10.1051/0004-6361/201936012. arXiv: 1909.10533 [astro-ph.SR].
3. Kenji Furuya, Yuri Aikawa, Tetsuya Hama, and Naoki Watanabe. “H<sub>2</sub> Ortho-Para Spin Conversion on Inhomogeneous Grain Surfaces”. *ApJ* 882.2, 172 (Sept. 2019), p. 172. DOI: 10.3847/1538-4357/ab3790. arXiv: 1908.01966 [astro-ph.GA].
4. Mihkel Kama, Oliver Shorttle, Adam S. Jermyn, Colin P. Folsom, Kenji Furuya, et al. “Abundant Refractory Sulfur in Protoplanetary Disks”. *ApJ* 885.2, 114 (Nov. 2019), p. 114. DOI: 10.3847/1538-4357/ab45f8. arXiv: 1908.05169 [astro-ph.EP].
5. Henry R. M. Zovaro, Robert Sharp, Nicole P. H. Nesvadba, Geoffrey V. Bicknell, Dipanjan Mukherjee, et al. “Jets blowing bubbles in the young radio galaxy 4C 31.04”. *MNRAS* 484.3 (Apr. 2019). incl. Wagner, A. Y., pp. 3393–3409. DOI: 10.1093/mnras/stz233. arXiv: 1811.08971 [astro-ph.GA].
6. W. E. Banda-Barragán, F. J. Zertuche, C. Federrath, J. García Del Valle, M. Brüggén, et al. “On the dynamics and survival of fractal clouds in galactic winds”. *MNRAS* 486.4 (July 2019), pp. 4526–4544. DOI: 10.1093/mnras/stz1040. arXiv: 1901.06924 [astro-ph.GA].
7. S. Arata, H. Yajima, K. Nagamine, Y. Li, and S. Khochfar. “Radiative properties of the first galaxies: rapid transition between UV and infrared bright phases”. *MNRAS* 488 (Sept. 2019), pp. 2629–2643. DOI: 10.1093/mnras/stz1887. arXiv: 1810.07621.
8. Ryota Tomaru, Chris Done, Ken Ohsuga, Mariko Nomura, and Tadayuki Takahashi. “The thermal-radiative wind in low-mass X-ray binary H1743-322: radiation hydrodynamic simulations”. *MNRAS* 490.3 (Dec. 2019), pp. 3098–3111. DOI: 10.1093/mnras/stz2738. arXiv: 1905.11763 [astro-ph.HE].
9. Eishun Takeo, Kohei Inayoshi, Ken Ohsuga, Hiroyuki R. Takahashi, and Shin Mineshige. “Super-Eddington growth of black holes in the early Universe: effects of disk radiation spectra”. *MNRAS* (July 2019), p. 1838. DOI: 10.1093/mnras/stz1899. arXiv: 1901.04514 [astro-ph.HE].

10. Henry R. M. Zovaro, Nicole P. H. Nesvadba, Robert Sharp, Geoffrey V. Bicknell, Brent Groves, et al. "Searching for signs of jet-driven negative feedback in the nearby radio galaxy UGC 05771". *MNRAS* (Sept. 2019), p. 2119. DOI: 10.1093/mnras/stz2459. arXiv: 1909.00144 [astro-ph.GA].
11. Haibin Zhang, Masami Ouchi, Ryohei Itoh, Takatoshi Shibuya, and incl. Hidenobu Yajima. "CHORUS. III. Photometric and Spectroscopic Properties of Ly $\alpha$  Blobs at  $z = 4.9-7.0$ ". *ApJ* 891.2 (Mar. 2020), p. 177. DOI: 10.3847/1538-4357/ab7917. arXiv: 1905.09841 [astro-ph.GA].
12. Akira Kouchi, Kenji Furuya, Tetsuya Hama, Takeshi Chigai, Takashi Kozasa, et al. "Direct Measurements of Activation Energies for Surface Diffusion of CO and CO<sub>2</sub> on Amorphous Solid Water Using In Situ Transmission Electron Microscopy". *ApJ* 891.1, L22 (Mar. 2020), p. L22. DOI: 10.3847/2041-8213/ab78a2.
13. Shigeki Inoue and Naoki Yoshida. "Spiral-arm instability - III. Fragmentation of primordial protostellar discs". *MNRAS* 491.1 (Jan. 2020), pp. L24–L28. DOI: 10.1093/mnras1/s1z160. arXiv: 1908.09576 [astro-ph.GA].
14. Pierre Boldrini, Yohei Miki, Alexander Y. Wagner, Roya Mohayaee, Joseph Silk, et al. "Cusp-to-core transition in low-mass dwarf galaxies induced by dynamical heating of cold dark matter by primordial black holes". *MNRAS* 492.4 (Mar. 2020), pp. 5218–5225. DOI: 10.1093/mnras/staa150. arXiv: 1909.07395 [astro-ph.CO].
15. Yueying Li, Ming F. Gu, Hidenobu Yajima, Qirong Zhu, and Moupiya Maji. "ART2: A 3D Parallel Multi-wavelength Radiative Transfer Code for Continuum and Atomic and Molecular Lines". *MNRAS* Accepted for publication in MNRAS; 20 pages, 26 figures (Mar. 2020). DOI: 10.1093/mnras/staa733.
16. Tomohisa Kawashima and Ken Ohsuga. "Super-critical column accretion on to strongly magnetized neutron stars in ULX pulsars". *PASJ* 72.1 (Feb. 2020), p. 15. DOI: 10.1093/pasj/psz136.
17. S. Inoue and N. Yoshida. "Spiral-arm instability - II. Magnetic destabilization". en. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 485.3 (May 2019), pp. 3024–3041. DOI: 10.1093/mnras/stz584. URL: <https://academic.oup.com/mnras/article/485/3/3024/5368075>.
18. Megumi Kayanuma, Mitsuo Shoji, Kenji Furuya, Katsumasa Kamiya, Yuri Aikawa, et al. "First-Principles Study of the Reaction Mechanism of CHO + H on Graphene Surface". en. *J. Phys. Chem. A* 123.26 (July 2019), pp. 5633–5639. ISSN: 1089-5639, 1520-5215. DOI: 10.1021/acs.jpca.9b02345. URL: <http://dx.doi.org/10.1021/acs.jpca.9b02345>.
19. Takanobu Kirihaara, Kenji Hasegawa, Masayuki Umemura, Masao Mori, and Tomoaki Ishiyama. "Discrimination of heavy elements originating from Pop III stars in  $z = 3$  intergalactic medium". *MNRAS* (Submitted). arXiv: 1909.07034.
20. Shigeki Inoue and Naoki Yoshida. "Clumpy galaxies in cosmological simulations: the effect of ISM model". en. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 488.3 (Sept. 2019), pp. 4400–4412. DOI: 10.1093/mnras/stz2076.

B) 査読無し論文

1. S. Arata, H. Yajima, K. Nagamine, Y. Li, and S. Khochfar. "Galaxy evolution and radiative properties in the early Universe: multi-wavelength analysis in cosmological simulations". *arXiv e-prints* (Aug. 2019). arXiv: 1908.01438.

## (2) 国際会議発表

### A) 招待講演

1. 古家健次. “Astrochemical models of water: from molecular clouds to protoplanetary disks”. NOVA Network2 meeting (Amsterdam Science Park, Amsterdam, The Netherlands, Oct. 10, 2019).
2. 古家健次. “Volatiles in protoplanetary disks”. NAOJ Science Workshop II: Planet Formation Workshop 2019 (National Astronomical Observatory of Japan, Tokyo, Japan, Nov. 25–28, 2019).
3. 大須賀健. “Radiation Hydrodynamic/Magnetohydrodynamic Simulations of Super- Eddington Accretion Flows and Outflows”. 14th Asia-Pacific Physics Conference 2019 (Kuching, マレーシア, Nov. 18–22, 2019).
4. 大須賀健. “Effects of magnetic field on active galactic nuclei (accretion disk)”. Polarimetry in the ALMA era: A New Crossroads of Astrophysics (NAOJ, Japan, Mar. 26–29, 2019).
5. 大須賀健. “Numerical Simulations of super/near Eddington accretion flows and radiatively-driven outflows around black holes”. The Accretion Signatures of the Earliest Black Holes in the Universe (Princeton Univ., USA, Apr. 3–5, 2019).
6. 大須賀健. “BH high-power accretion & outflow”. Active Galactic Nucleus Jets in the Event Horizon Telescope Era (Tohoku University, Japan, Jan. 20–22, 2020).
7. Alexander Wagner. “Jet-ISM interactions in gas-rich disc galaxies”. European Week of Astronomy and Space Science (EWASS) 2019 (University of Lyon 3, Lyon, France, June 23–28, 2019). URL: <https://eas.unige.ch/EWASS2019/>.
8. 矢島秀伸. “Formation of dusty starburst galaxies in cosmological simulations with radiative transfer”. ALMA workshop: The blind search for hidden galaxies in an abundant line of sight (NAOJ Mitaka, Japan, Mar. 11–12, 2020).

### B) 一般講演

1. 朝比奈雄太. “General relativistic radiation MHD simulations of supercritical accretion flows”. 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Japan, Oct. 15, 2019).
2. 朝比奈雄太. “Development of a general relativistic radiation magnetohydrodynamical code based on solving the Boltzmann equation”. The cosmos at high energies: exploring extreme physics through novel instrumentation (Lecture Hall, Kavli IPMU, Kashiwa, Japan, Oct. 16–18, 2019).
3. Hajime Fukushima, Hidenobu Yajima, Kazuyuki Sugimura, Takashi Hosokawa, Kazuyuki Omukai, et al. “Star-cluster formation in low-metallicity massive clouds under radiative feedback”. First Stars VI (Concepción, Chile, Mar. 2–6, 2020). URL: <http://www.astro.udec.cl/FirstStarsVI/>.
4. Hajime Fukushima. “Radiative feedback in low-metallicity star-forming clouds”. Modeling High-Mass Stellar Feedback Workshop (Tübingen, Germany, Mar. 9–13, 2020).
5. 古家健次. “Evolution of ices and deuteration during the formation stage of protoplanetary disks”. New Quests in Stellar Astrophysics IV Astrochemistry, Astrobiology and the Origin of Life (Puerto Vallarta, Mexico, Mar. 31–Apr. 5, 2019).
6. 矢島秀伸. “Time-dependent radiative transfer simulations for in-vivo bioimaging”. 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Japan, Oct. 15, 2019).

7. Kazuki Kato. "Dynamics of the cusp-to-core transformation in the cold dark matter halos". Dark Matter Searches in 2020s (The University of Tokyo, Kashiwa Campus, Nov. 11–13, 2019).
8. Makito Abe. "Structure Formation in the Early Universe using Radiation Hydrodynamic Simulations". 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Japan, Oct. 15, 2019).
9. Masao Mori. "Galaxy collisions and the missing satellite problem in the cold dark matter model". Dark Matter Searches in 2020s (The University of Tokyo, Kashiwa Campus, Nov. 11–13, 2019).
10. 森正夫. "Formation and Evolution of Local Galaxies". 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Japan, Oct. 15, 2019).
11. 大須賀健. "Radiation magnetohydrodynamics simulations of accretion flows onto black holes". 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Japan, Oct. 15, 2019).
12. 井上壮大, 大須賀健, and 川島朋尚. "Pulsed fraction of super-critical column accretion flows onto neutron stars: modeling of ultraluminous X-ray pulsars". The cosmos at high energies: exploring extreme physics through novel instrumentation (Lecture Hall, Kavli IPMU, Kashiwa, Japan, Oct. 16–18, 2019).
13. 内海碧人, 大須賀健, and 高橋博之. "General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-Eddington accretion disks around prograde and retrograde black holes". The cosmos at high energies: exploring extreme physics through novel instrumentation (Lecture Hall, Kavli IPMU, Kashiwa, Japan, Oct. 16–18, 2019).
14. 大須賀 健. "Hoyle-Lyttleton Accretion of Dusty Gas onto Accretion Disks". Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, Area workshop 2020 Winter (Cottage Biwako Club, Shiga, Japan, Jan. 11–13, 2020).
15. 内海碧人, 大須賀健, and 高橋博之. "General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-Eddington accretion disks around prograde and retrograde black holes". Active Galactic Nucleus Jets in the Event Horizon Telescope Era (Tohoku University, Japan, Jan. 20–22, 2020).
16. Y. Tsunetoe, S. Mineshige, K. Ohsuga, T. Kawashima, and K. Akiyama. "The polarization imaging in M87 jet by general relativistic radiative transfer simulation with GRMHD models". A Centenary of Astrophysical Jets: Observation, Theory and Future Prospects (Square Kilometre Array Global Headquarters, UK, Jan. 23–26, 2020).
17. Y. Tsunetoe, S. Mineshige, K. Ohsuga, T. Kawashima, M. Nakamura, et al. "Polarization Imaging of M87 Jets by General Relativistic Radiative Transfer Calculation Based On GRMHD Simulations". Radiative feedback in low-metallicity star-forming clouds (Charlottesville, VA, USA, Jan. 28–30, 2020).
18. K. Ohsuga. "Hoyle-Lyttleton Accretion of Dusty Gas onto Accretion Disks". Gravitational Wave Physics and Astronomy (Konan University, Japan, Feb. 10–12, 2020).
19. Satoshi Tanaka. "Radiation Hydrodynamic simulations with recombination photon of First stars". 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Oct. 15, 2019).
20. 梅村雅之. "Mergers of accreting multiple BHs leading to SMBH formation in galactic nuclei". The 30th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics (Portsmouth, UK, Dec. 15–20, 2019).
21. 矢島秀伸. "Cosmological simulations of first galaxies and first star clusters". Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, Area workshop 2020 Winter (Cottage Biwako Club, Shiga, Japan, Jan. 11–13, 2020).



22. Kohji Yoshikawa. "Dynamical Effect of Cosmological Relic Neutrinos". 11th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (International Congress Center EPOCHAL TSUKUBA, Japan, Oct. 15, 2019).

### (3) 国内学会・研究会発表

#### A) 招待講演

1. 古家健次. "星形成領域におけるリンの化学". 第1回リンと生命の起源研究会 (首都大学東京秋葉原キャンパス, Sept. 2-3, 2019).
2. 大須賀健 (理論天文学・宇宙物理学懇談会代表). "現状の評価及び将来への期待". 国立天文台の成果と将来シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, 東京, Dec. 12-13, 2019).
3. 大須賀健. "ブラックホール降着円盤およびジェット的一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション". 基研研究会「シミュレーションによる宇宙の基本法則と進化の解明に向けて」(京都大学基礎物理学研究所, 京都, Dec. 16-19, 2019).
4. Alexander Y. Wagner. "Simulations of AGN feedback by relativistic jets in disc galaxies". 「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 (京都大学 理学部セミナーハウス, May 30, 2019).
5. 矢島秀伸. "Cosmological simulations of galaxy formation at the epoch of reionization". 国立天文台科学研究部研究会 2019 (伊豆休暇村, 静岡県, Dec. 2-4, 2019).
6. 矢島秀伸. "三次元輻射輸送計算コードの開発: 宇宙物理から医用ひかり学への新展開". 日本学術振興会第186委員会 2019年度第1回研究会 (京都大学東京オフィス, June 19, 2019).

#### B) その他の発表

1. 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. "ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の一般相対論的 MHD シミュレーション". 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16-19, 2020).
2. 朝比奈雄太. "ボルツマン方程式を解く GRRMHD コードの開発と降着円盤への適用". 銀河系中心部研究会 2019 (June 10, 2019).
3. 朝比奈雄太. "ボルツマン方程式を解く GRRMHD コードの開発と降着円盤への適用". 「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 (京都大学 理学部セミナーハウス, May 29, 2019).
4. 阿左美進也, 安部牧人, and 梅村雅之. "Effect of Lyman  $\alpha$  ( $\text{Ly}\alpha$ ) photon radiated from primordial cloud to  $\text{H}_2$  formation". 初代星初代銀河研究会 (名古屋大学, Nov. 11-13, 2019). URL: <http://tpweb2.phys.konan-u.ac.jp/~shodai/2019/>.
5. 福島肇. "3次元輻射流体シミュレーションによる低金属量星団形成". 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11-13, 2019).
6. 福島肇. "巨大分子雲における星団形成の金属量依存性". 初代星・初代銀河研究会 2019 (名古屋大学, Nov. 11-13, 2019). URL: <http://tpweb2.phys.konan-u.ac.jp/~shodai/2019/>.
7. 福島肇 矢島秀伸 and 梅村雅之. "星形成領域における円偏光波生成に関する輻射輸送シミュレーション". 第32回理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25-25, 2019).
8. 福島肇. "星形成領域の円偏光生成に関する輻射輸送計算". ABC 若手分野間連携 WS (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 14, 2019).
9. 福島肇, 矢島秀伸, and 梅村雅之. "星形成領域における円偏光波に関する輻射輸送シミュレーション". 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16-19, 2020).
10. 古家健次. "星・惑星形成領域におけるダスト表面上での水素分子のオルソ・パラ変換". 地球惑星科学連合 2019 年大会 (幕張メッセ, May 26-30, 2019).

11. 井上 茂樹. “理論モデルを用いた分子輝線の面分光疑似観測：力学解析へのバイアス”. 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- (国立天文台 (三鷹), Oct. 29–30, 2019). URL: [http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/ifu/ifu\\_meeting\\_2019.html](http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/ifu/ifu_meeting_2019.html).
12. 井上 茂樹. “理論モデルを用いた銀河の分子輝線疑似観測”. 初代星・初代銀河研究会 2019 (名古屋大学, Nov. 11–13, 2019). URL: <http://tpweb2.phys.konan-u.ac.jp/~shodai/2019/>.
13. 井上茂樹, 吉田直紀, and 矢島秀伸. “Connecting molecules with the others in cosmological simulations”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
14. 井上茂樹. “Dependence of galactic clumpiness on ISM models for high-density gas in cosmological simulations”. Galaxy Evolution Workshop 2019 (The University of Tokyo, Kashiwa Library, Media Hall, June 5–7, 2019). URL: <https://member.ipmu.jp/kiyoto.yabe/gev2019/>.
15. 大滝恒輝 and 森正夫. “銀河衝突によるダークマター欠乏銀河の形成”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
16. 三木洋平, 桐原崇亘, 森正夫, 小宮山裕, 千葉柁司, et al. “M31 恒星ストリームと暗黒物質サブハローの相互作用:すばる PFS への期待”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
17. 森正夫 and 数野優大. “Milky Way サイズの dark matter halo に付随する subhalo の軌道運動と衝突過程”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
18. 桐原崇亘, 長谷川賢二, 梅村雅之, 森正夫, and 石山智明. “宇宙論的シミュレーションで探る  $z=3$  の銀河間物質における初代星起源重元素”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
19. 五十嵐朱夏, 森正夫, and 新田伸也. “星形成銀河におけるアウトフローの赤方偏移依存性”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
20. 大滝恒輝 and 森正夫. “ダークマター欠乏銀河の形成”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
21. 加藤一輝, 森正夫, and 穂積俊輔. “周期的な超新星フィードバックと Ultra-diffuse galaxy の形成過程”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
22. 佐々木竜志 and 森正夫. “銀河衝突と銀河系 thick disk 及び thin disk の形成過程”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
23. 桐原崇亘, 長谷川賢二, 梅村雅之, 森正夫, and 石山智明. “宇宙論的 N 体シミュレーションを用いた恒星間天体衝突による低質量初代星の重元素汚染”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
24. 森正夫, 宮川銀次郎, and 三木洋平. “IC10 の銀河衝突シミュレーションで探る Dark Satellite の存在可能性について”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
25. 加藤一輝, 森正夫, and 穂積俊輔. “周期的な超新星フィードバックによる Ultra-diffuse galaxy の形成”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
26. 五十嵐朱夏, 森正夫, and 新田伸也. “星形成銀河からの遷音速アウトフローの赤方偏移依存性”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
27. 小川拓未, 大須賀健, 川島朋尚, and 高橋博之. “多重コンプトン散乱込みの一般相対論的 6 次元輻射輸送計算コードの開発”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
28. 井上壮大, 大須賀健, and 川島朋尚. “ULX Pulsar の超臨界降着柱モデル; Pulsed Fraction と磁軸、見込み角の関係”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
29. 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “超臨界降着流の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
30. 川島朋尚, 大須賀健, and 高橋博之. “ブラックホール・スピンの超臨界降着流の輻射スペクトルに与える影響”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).

31. 竹尾英俊, 稲吉恒平, 大須賀健, 高橋博之, and 嶺重慎. “降着円盤からのフィードバックが超臨界降着条件に与える影響”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
32. 恒任優, 嶺重慎, 大須賀健, 川島朋尚, and 秋山和徳. “M87 ジェット地平面領域の構造解明輻射輸送計算による EHT 偏波イメージの理論予測”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
33. 古野雅之, 嶺重慎, 大須賀健, and 北木孝明. “超臨界降着流におけるアウトフローのフラクタル次元解析”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
34. 井上壮大 大須賀健 and 川島朋尚. “Calculation for super-critical column accretion flows onto neutron stars : Modeling of ultraluminous X-ray pulsars”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
35. 内海碧人 大須賀健 and 高橋博之. “General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-Eddington accretion disks around prograde and retrograde black holes”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
36. 高橋幹弥 高橋芳太 大須賀健 朝比奈雄太 and 梅村雅之. “一般相対論的輻射輸送コード : ARTIST の開発の現状と今後の展望”. 第 32 回 理論懇シンポジウム (国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25–25, 2019).
37. 大須賀健. “円盤風の噴出による円盤構造の変化について”. 第 9 回アウトフロー研究会 (JAXA, Mar. 25, 2019).
38. 大須賀健. “円盤風の噴出による円盤構造の変化について”. SWANS/SNAWS 会議 (鹿児島大学, Mar. 26–27, 2019).
39. 大須賀 健. “富岳で狙う BH 周辺構造とジェット形成”. ポスト「京」萌芽的課題・計算惑星 第 4 回公開シンポジウム (神戸大学, Mar. 9, 2020).
40. 都丸亮太, Chris Done, 大須賀健, 小高裕和, and 高橋忠幸. “X 線連星における熱放射駆動型円盤風からの輝線吸収線構造と観測との比較”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
41. 小川拓未, 大須賀健, 川島朋尚, and 高橋博之. “多重コンプトン散乱込みの一般相対論的 6 次元輻射輸送計算コードの開発”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
42. 井上壮大, 大須賀健, and 川島朋尚. “ULX パルサーの超臨界降着柱モデル; パルスの形状と振幅について”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
43. 内海碧人, 大須賀健, and 高橋博之. “順回転、逆回転ブラックホールをもつ超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
44. 高橋幹弥, 高橋芳太, 大須賀健, 朝比奈雄太, and 梅村雅之. “ARTIST コードを元にした空間 3 次元一般相対論的輻射輸送コードの開発”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
45. 細谷亮太郎 and 大須賀健. “Dusty-gas の輻射重力源への Hoyle-Lyttleton 降着; 輻射場の非球対称性と減光の効果”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
46. 川島朋尚, 大須賀健, and 高橋博之. “多波長の一般相対論的輻射輸送計算 : ブラックホール・シャドウと電波から X 線・ガンマ線までの輻射スペクトル”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
47. Shigeki Inoue. “Secondary proto-star formation triggered by spiral-arm instability”. The Astronomical Society of Japan, 2019 Autumn Annual Meeting (Sept. 11, 2019). URL: <http://www.asj.or.jp/nenkai/archive/2019b/>.
48. Shigeki Inoue. “クランピー銀河”. 銀河力学研究会:「銀河力学研究のこれまでとこれから」- 遠方銀河から天の川銀河まで (Sendai, Aug. 19, 2019). URL: <https://sites.google.com/site/galdyn2019/>.
49. 曾我健太 and 梅村雅之. “高赤方偏移銀河の電離構造に対する AGN の影響”. 銀河・銀河間ガス研究会 2019 (北見工業大学, Aug. 5–9, 2019). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/domestic/ja/2019/05/14/galaxy-igm/>.

50. 曾我健太 and 梅村雅之. “高赤方偏移銀河の電離構造に対する AGN の影響”. 天体形成研究会 (筑波大学, Oct. 18–19, 2019). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2019/10/18/tentaikaisei/>.
51. 田中 賢. “MP 法における Semi-Lagrangian 法の実装”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
52. 田中 賢. “初代星・原始銀河形成における再結合放射の影響”. 第 6 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会 ～スーパーコンピュータ「富岳」の胎動、計算科学、AI の融合に向けて～ (東京, 品川, Nov. 1, 2019).
53. 田中 賢. “大規模数値計算と広域宇宙観測データの融合による宇宙進化の解明 ～宇宙大規模構造形成におけるニュートリノの力学的影響～”. 第 6 回「京」を中核とする HPCI システム利用研究課題 成果報告会 ～スーパーコンピュータ「富岳」の胎動、計算科学、AI の融合に向けて～ (東京, 品川, Nov. 1, 2019).
54. 阿左美進也, 安部牧人, and 梅村雅之. “原始ガス雲内部から放出される Ly $\alpha$  光子による水素分子形成抑制効果”. 日本天文学会春季年会 (筑波大学, Mar. 16–19, 2020).
55. 矢島秀伸. “生体光イメージングに向けた並列輻射輸送計算コードの開発”. 計算メディカルサイエンス事業部発足シンポジウム (筑波大学, Dec. 6, 2019).
56. 矢島秀伸. “原始銀河団領域における巨大ブラックホール形成”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
57. 矢島秀伸. “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”. SKA-Japan シンポジウム 2019 (国立天文台, Sept. 2–6, 2019).
58. 矢島 秀伸. “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”. 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- (国立天文台 (三鷹), Oct. 29–30, 2019). URL: [http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/ifu/ifu\\_meeting\\_2019.html](http://www.ioa.s.u-tokyo.ac.jp/ifu/ifu_meeting_2019.html).
59. 矢島 秀伸. “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”. 初代星・初代銀河研究会 2019 (名古屋大学, Nov. 11–13, 2019). URL: <http://tpweb2.phys.konan-u.ac.jp/~shodai/2019/>.
60. 吉川耕司. “SIMD 命令を用いた SPH 法の高速度”. 日本天文学会秋季年会 (熊本大学, Sept. 11–13, 2019).
61. 吉川耕司. “重元素の超微細構造線による WHIM 探査”. SKA-Japan シンポジウム 2019 (国立天文台三鷹キャンパス, Sept. 2–6, 2019).
62. 吉川耕司. “宇宙大規模構造形成におけるニュートリノの力学的影響”. 基研研究会「シミュレーションによる宇宙の基本法則と進化の解明に向けて」(京都大学 基礎物理学研究所, Dec. 16–19, 2019).

#### (4) 著書・解説記事等

##### A) 記事

1. 森正夫. “銀河の衝突と進化”. *Newton* 別冊 銀河のすべて (増補第 2 版). ニュートンプレス, Nov. 2019. Chap. 4, pp. 94–111.

## 7. シンポジウム・研究会・スクール等の開催実績

1. 梅村雅之, 大須賀健, 矢島秀伸, and Alex Wagner. 研究会開催: 「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」(京都大学, 京都市, May 29–30, 2019).
2. 矢島秀伸. 研究会開催: 「第 6 回銀河進化研究会」(東京大学 IPMU, 柏市, June 5–7, 2019).

3. 宇宙物理理論研究室 M1 の学生. 研究会開催：「天体形成研究会」(筑波大学 計算科学研究センター, Oct. 18-19, 2019). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2019/10/18/tentaikaisei/>.
4. 大須賀健. 研究会開催：第 32 回理論懇シンポジウム「天文学・宇宙物理学の変遷と新時代の幕開」(国立天文台三鷹キャンパス, Dec. 25-27, 2019).
5. 梅村雅之, 矢島秀伸. 研究会開催：「光バイオイメージング学術変革領域申請検討会」(フクラシア浜松町, Jan. 10, 2020).
6. 梅村雅之, 大須賀健, 矢島秀伸, Alex Wagner, 朝比奈雄太. 研究会開催：「超巨大ブラックホール学術変革ミーティング」(筑波大学東京キャンパス, Jan. 16-17, 2020).
7. 梅村雅之 and 矢島秀伸. 研究会開催：「銀河・銀河間ガス研究会 2019」(北見工業大学, 北見市, Aug. 5-9, 2019). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/domestic/ja/2019/05/14/galaxy-igm/>.
8. 梅村雅之. 研究会開催：「初代星初代銀河研究会」(名古屋大学, 名古屋市, Nov. 11-13, 2019). URL: <http://tpweb2.phys.konan-u.ac.jp/~shodai/2019/>.
9. 梅村雅之. シンポジウム開催：「計算メディカルサイエンス事業部発足キックオフシンポジウム」(筑波大学 計算科学研究センター, つくば市, Dec. 6, 2019). URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/com-med-sci-sympo-20191206/>.

## 8. 管理・運営

### 【組織運営や支援業務の委員・役員の実績】

- 梅村雅之
  - 計算科学研究センター 運営委員会委員
  - 計算科学研究センター 人事委員会委員
  - 計算科学研究センター 宇宙物理研究部門主任
  - 計算科学研究センター 運営協議会委員
  - 計算科学研究センター 研究企画室委員
  - 物理学域 運営委員会委員
  - 物理学域 宇宙物理理論グループ長
- 大須賀健
  - 計算科学研究センター 運営委員会委員
  - 物理学域 運営委員会委員
  - AC センター 運営委員会委員
  - カリキュラム委員会委員
- 森正夫
  - スポーツデー運営委員
  - 物理学類 4 年担任
  - 計算科学研究センター共同研究委員会学内委員
  - 最先端多重複合型計算機システム技術審査委員
- 吉川耕司
  - 計算科学研究センター 計算機運用委員会委員
  - 計算科学研究センター 先端計算科学推進室委員

## 9. 社会貢献・国際貢献

1. 森正夫. *Newton* 2020年2月号「宇宙の終わり」監修. Dec. 26, 2019.
2. 大須賀健. テレビ出演, *NHKBS4K* "スペーススペクタクル「第2集 見えた! ブラックホールの謎」". Jan. 26, 2020.
3. 大須賀健. テレビ出演, *AbemaTV "Abema Prime"*, ブラックホールを解説. Apr. 10, 2019.
4. 大須賀健. テレビ出演, 日本テレビ "シューイチ", ブラックホールを解説. Apr. 14, 2019.
5. 大須賀健. インタビュー記事掲載, *KADOKAWA* 発の情報文芸サイト カドブン, "人類史上初のブラックホール観測に成功! それってどのくらいすごいこと?". Apr. 29, 2019.
6. 大須賀健. インタビュー記事掲載, 茨城新聞 5月13日朝刊, "ブラックホール撮影成功 宇宙誕生の謎 解明への手がかり". May 13, 2019.
7. 大須賀健. 講演会, 円満寺護持会, 「ブラックホール超入門」. June 29, 2019.
8. 大須賀健. 講演会, 常総市立石下中学校, 「ブラックホールを知ろう!」. July 12, 2019.
9. 大須賀健. ラジオ出演, 宇都宮コミュニティ FM『ミヤラジ「マチコ先生のラジ勉!」 July 13, 2019.
10. 大須賀健. テレビ出演, *NHK "NHKスペシャル スペーススペクタクル"*. July 28, 2019.
11. 大須賀健. 公開講座, 朝日カルチャーセンター新宿 "ブラックホール研究の最前線". July 27, 2019.
12. 大須賀健. 社内講演会, *HGST* ジャパン "謎の天体 ブラックホール". Aug. 1, 2019.
13. 大須賀健. 宇宙を学べる大学合同進学説明会, 東京理科大学 "ブラックホール天文学の最前線". Aug. 24, 2019.
14. 大須賀健. 天文学会公開講演会, 熊本大学 "ブラックホール天文学の最前線". Sept. 14, 2019.
15. 大須賀健. 講演会, サハトベに花 "やさしいブラックホールのおはなし". Sept. 21, 2019.
16. 大須賀健. 講演会, クレオ大阪 "ブラックホール超入門". Nov. 10, 2019.
17. 大須賀健. 新聞掲載, 日経新聞 "かがくアゴラ". Dec. 6, 2019.
18. 大須賀健. テレビ出演, *NHK* "ニュース シブ5時 特集企画「ブラックホール」". Dec. 12, 2019.
19. 大須賀健. 理論天文学宇宙物理学懇談会運営委員長.
20. 梅村雅之. 公開講座, 朝日カルチャーセンター新宿 "巨大ブラックホールはいかにして作られたか". Aug. 24, 2019.
21. 梅村雅之. 新潟県立新潟南高等学校「大学講義体験」, 「銀河と超巨大ブラックホールの共進化」. Dec. 3, 2019.
22. 梅村雅之. 筑波大学 *STEAM* リーダーシッププログラム「課題創造学2」講座, 「宇宙・生命・医療の学際融合」. Jan. 7, 2020.
23. 梅村雅之. 国立科学博物館天文学普及講演会, 「宇宙の進化と生命の誕生」. Oct. 19, 2019.
24. 梅村雅之. 竹園東小学校講演会「宇宙の旅」. Dec. 13, 2019.
25. 梅村雅之. 朝日カルチャーセンター "ブラックホール研究の最前線", 「巨大ブラックホールはいかにして作られたか」. Aug. 24, 2019.
26. 梅村雅之. 日本天文学会会長.
27. 梅村雅之. 日本天文学会欧文研究報告編集顧問.

## 10. その他

1. *External Review 2020*. Feb. 20, 2020.

2. 学術変革領域研究申請, 領域名: ひかり学の革新: 医用光学・宇宙物理学・原子核科学の融合で拓く, 領域代表者: 星詳子 (浜松医科大学光先端医学教育研究センター, 教授), 研究計画代表者: 梅村雅之, 矢島秀伸.
3. 梅村雅之 矢島秀伸. アストロバイオロジーセンターサテライト研究応募申請「宇宙生命計算科学と観測・実験を繋ぐホモキラリティー探求拠点」.