

I. 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
 准教授 吉川 耕司
 助教 Wagner Alexander
 研究員 高水 裕一 (CCS)
 安部 牧人 (計算メディカルサイエンス)
 福島 肇 (科研費若手研究 A)
 朝比奈 雄太 (CCS)
 井上 茂樹 (ALMA 共同科学的研究事業)
 小川 拓未 (富岳サブ課題 C)
 菊田 智史 (科研費基盤研究 A)
 荻原 大樹 (学振研究員 DC2)
 学生 大学院生 24 名
 学類生 10 名
 研究生 1 名

2. 概要

本年度、当グループは、ブラックホール超臨界降着流の大局構造の研究、一般相対論的ボツルマン輻射輸送計算を用いた超臨界降着流のX線時間変動の研究、星間空間を浮遊するブラックホールへのガス降着の研究、キラル有機分子の鏡像異性体過剰を引き起こす紫外線円偏光波生成の研究、ライマン α 光の円偏光生成とホモキラリティ問題、原始惑星系円盤における乱流とダスト成長、暗黒物質サブハローとM31恒星ストリームの相互作用、Dark Matter Sub-haloの力学進化、ダークマターサブハロー衝突によるダークマター欠乏銀河の形成過程、原始銀河団形成シミュレーション、生体光拡散トモグラフィーの数値的研究、スーパーコンピュータ富岳を用いた宇宙大規模構造におけるニュートリノの数値シミュレーション、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、AGN feedback: The interactions of AGN radiation, jets and winds with the host galaxy、星団形成における輻射流体力学過程の研究、を行った。

3. 研究成果

【1】 ブラックホール超臨界降着流の大局構造の研究

活動銀河核やX線連星といったコンパクトな高エネルギー天体のエネルギー源は、ブラックホールへのガス降着流であると考えられている。特に、エディントン光度を超えるほどの光度を示す天体には、超臨界降着流が存在すると予想される。超臨界降着流は、光学的にも幾何学的にも厚く、また、輻射圧で加速された強力なアウトフローが発生するという特徴があり、輻射流体力学シミュレーションで盛んに調べられてきたが、大局的な構造はまだわかっていない。本研究で、計算領域を大幅に拡張した輻射流体力学シミュレーションを実施したところ、超臨界降着流は、降着円盤、遠方に到達するアウトフロー(pure outflow)、途中で円盤に落

下するアウトフロー (failed outflow) の3成分から構成されることがわかった。比較的ブラックホール近傍から吹き出したアウトフローは、強力な輻射力で加速されて pure outflow となるが、比較的遠方から噴出したガスは、効率的な輻射加速を受けることができず、failed outflow となる。また、アウトフローがほぼ発生しない領域がブラックホールのごく近傍に現れることもわかった。さらに、放出される運動エネルギーと輻射エネルギーの比を求めたところ、いくつかの超高光度X線源の観測結果と合致することがわかった。この結果は、超高光度X線源のエネルギー源が、恒星質量ブラックホール周囲の超臨界降着流であるという説をサポートするものである。

【2】一般相対論的ボツルマン輻射輸送計算を用いた超臨界降着流のX線時間変動の研究

超臨界降着流は、極めて高光度でコンパクトな天体のエネルギー源であると考えられている。本研究では、超臨界降着流の観測的性質を調べるために、シュワルツシルト時空におけるボルツマン輻射輸送計算コードを新たに開発した。このコードは、従来のコードでは正しく扱うことができなかつた多重逆コンプトン散乱を精密に扱えることが特徴である。多重逆コンプトン散乱は、超臨界降着流から生じるアウトフロー領域で頻繁に起こることが予想されるため、その実装が重要課題されていた。計算の結果、超臨界降着流は、高温低密度プラズマに満たされた funnel 領域（回転軸から30度程度の広がり）と、それを取り囲む比較的低温で光学的に厚い領域から構成されるため、face-on に近いほど高エネルギーX線が観測されやすいことがわかった。特に、数十キロ電子ボルトの高エネルギー光子は、視野角が30度以下の観測者だけが検出できる。これは、シミュレーションによる過去のスペクトル研究と整合的である。さらに、ブラックホール近傍で発生したフレアによってスペクトルがどのように変化するかを調べ、光子のエネルギーが大きくなるほど変化の振幅が大きくなること、高エネルギー光子が低エネルギー光子よりも早く変動することを発見した。

【3】星間空間を浮遊するブラックホールへのガス降着の研究

銀河の中心には超巨大ブラックホールが存在するが、その形成メカニズムはよくわかっていない。星間空間を浮遊する中質量ブラックホールへのガス降着が、有力な仮説のひとである。そこで本研究では、降着円盤をまといつつ星間空間を浮遊するブラックホールへの、ホイル・リットルトン降着について調べた。具体的には、ダストの吸収によって減衰する輻射力を考慮した運動方程式を解くことで、中心天体の周囲の定常構造を明らかにした。その結果、光学的厚さが増すと質量降着率が増加する傾向があることを発見した。また、降着円盤の光度がダストガスのエディントン光度を超えて、ダストの吸収による減衰で輻射力が弱くなり、ガスが降着できることもわかった。エディントン比（円盤の光度/エディントン光度）が3.0の円盤に対して、典型的光学的厚みが1.0のガスが回転軸方向から流入する場合、ガス降着は妨げられてしまうが、典型的光学的厚みが3.3の場合、ホイル・リットルトン降着率の約93%でガスが降着する。一方、円盤面方向の輻射は弱いため、円盤面に近い方向からのガスが流れ込む場合、円盤の光度によらず降着が妨げられないことがわかった。

【4】キラル有機分子の鏡像異性体過剰を引き起こす紫外線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、ストークスパラメータを含むモンテカルロ輻射輸送計算コードを用いて研究を進めた。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、ダストサイズがMRN分布となる場合について調べた。この場合、散乱光の円偏光度は近赤外線波長では3%程度であるのに対し、紫外線波長では20%超の光円偏光波となることを示した。MRN分布において、散乱過程に主に寄与するダスト粒子のサイズについても調べ、近赤外線・紫外線波長ともに長波長近似が適用される最大サイズに近い値となることがわかった。そこで、長波長近似における円偏光生成率について、その波長依存性について調べた。長波長近似における円偏光波波生成率は主に、ダスト

粒子の屈折率の実部と虚部の比に依存する。紫外線光における屈折率 ($m = 1.9 + 0.7i$) の虚部は近赤外線光に対する値 ($m = 1.7 + 0.034i$) よりも十分大きいために、1回散乱における円偏光波生成率も大きくなる。星形成領域における円偏光波の観測はこれまで主に近赤外線波長で行われており、円偏光率は数 % 程度である領域が大部分であることが知られている。本研究の結果から、このように近赤外線波長では低円偏光率の領域においても、紫外線波長では円偏光率が 10% 以上となる高円偏光波が存在することを明らかにした。また、紫外線と同様に中間赤外線 ($10 \mu\text{m} \lesssim \lambda \lesssim 30 \mu\text{m}$) においても高円偏光波が生成されることも示した。特に、ガスに埋もれた形成途中の大質量星からは、中間赤外線における輻射が卓越するために、円偏光波による観測が可能であることも示した。

【5】ライマン α 光の円偏光生成とホモキラリティ問題（宇宙生命計算科学連携）

アミノ酸には互いに鏡像異性体である L 型と D 型が存在し、実験ではこの L 型と D 型が等量生成される。しかし、生物の利用するアミノ酸の 99% は L 型となっており、この理由は長年明らかにされていない。これまでの研究で、水素ライマン α 線の円偏光をアミノ酸に照射することで、L 型と D 型の吸収率の差により、どちらかが選択的に破壊される可能性が示されている。円偏光は、磁場によって整列したダスト粒子に光が散乱することで生成すると考えられる。初期銀河系の星形成領域で多くのライマン α 波長の光が生成され、整列されたダストで散乱されれば、ライマン α の強い円偏光を生成できる可能性がある。本研究では、ライマン円偏光の生成のダストサイズ依存性を調べるために、先行研究と同様のコードを用い、3種類のサイズのダストに対する円偏光生成を計算した。ダストのサイズは $0.01, 0.05, 0.10 \mu\text{m}$ の 3 種類を仮定した。その結果、ダストサイズが $0.01 \mu\text{m}$ のときにライマン α の円偏光度が 20% ほどとなり、最も強い円偏光を生成するということが分かった。この結果により、長波長近似が成り立つような場合に、高い円偏光度を達成できるということが分かった。

【6】原始惑星系円盤における乱流とダスト成長（宇宙生命計算科学連携）

太陽系形成の標準モデルによると、原始惑星系円盤の中でダストが付着成長し微惑星へと成長したと考えられている。しかし、ガスとの摩擦によりダストは最短 100 年で中心星に落ちてしまうという「中心星落下問題」、限界速度以上で衝突したダストは跳ね返りや破壊が起きてしまうという「衝突破壊問題」という 2 つの問題が指摘されている。これらの問題を解決するメカニズムとして中心星に落下する粒子の風上風下の原理を利用したストリーミング不安定が注目されている。この不安定を有効にするためには、ダストがセンチサイズの石ころ（ペブル）に成長していること、ダスト-ガス比が数倍になっていることが必要である。本研究では、乱流中でダストが中心星に落下しながらでもストリーミング不安定が有効になる大きさまでダストを成長させることができるかという問題を調べた。数値計算は、乱流場を非圧縮ナビエストークス方程式で扱いフーリエスペクトル法で解き、 256^3 個のダスト（慣性粒子）をランダムにまき、乱流場中の運動をルンゲクッタ法で計算した。初期速度は中心星方向を想定した一方向のみ与えた。この初期速度は流体の速度に対して相対的に設定しているため、乱流の強さによって、またストークス数（St 数）によって中心星への落下時間も異なるので St 数別に、初期速度を変えてシミュレーションを行った。結果として、中心星方向の速度は指数関数的に減少し、同 St 数において初期速度が異なる場合でもその減少率はほぼ一致した。また他方向の速度と比較して、中心星方向の速度の非等方性は、初期速度が小さい方が速く小さくなかった。St 数別に比較すると、St 数の大きい方がゆっくり速度減少し、非等方性の低下にもより時間がかかった。さらに、粒子の衝突率を求めるとき、速度の非等方性が大きい状態にも関わらず、早くに衝突率が上昇した。以上の結果より、速度が他方向の数十倍程度まで落ちると十分な衝突数を獲得できることが分かった。よって、初期速度が大きい場合でも短い時間で十分な衝突数を獲得できる速度になり、ストリーミング不安定につながり得ることが分かった。

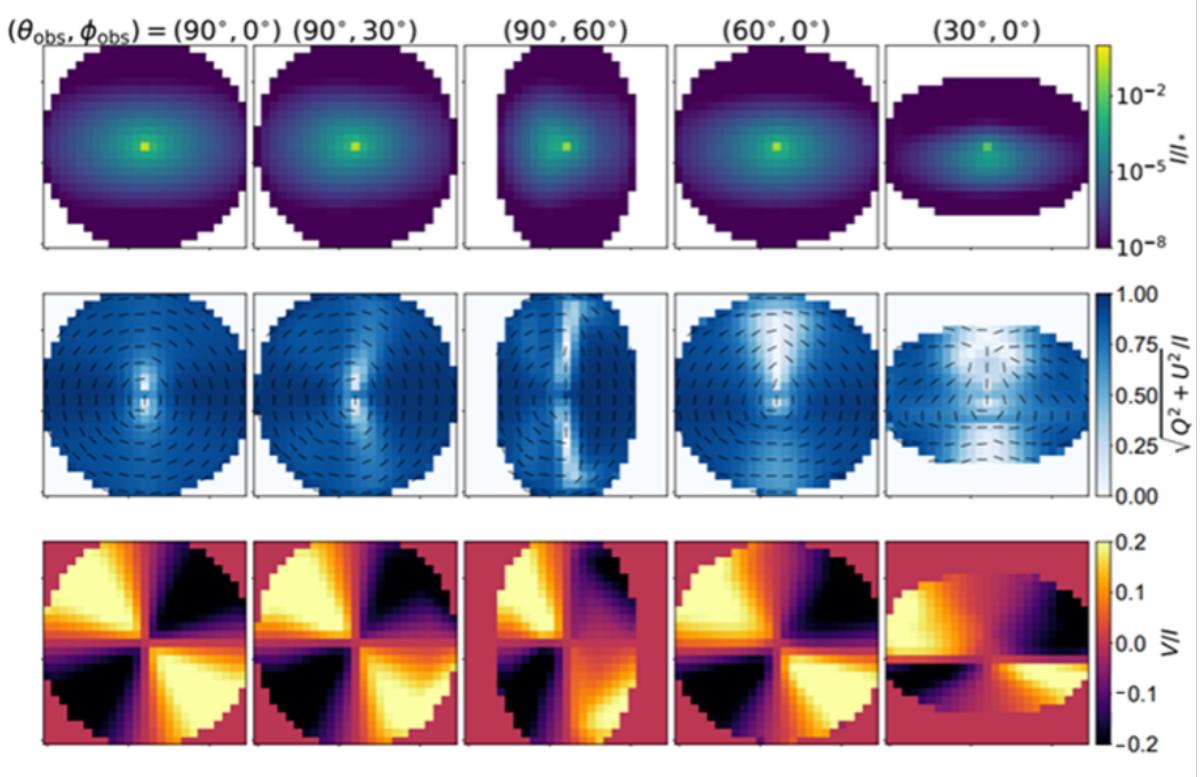


図1: ライマン α 波長における輝度（上図）と線偏光度（中図）、円偏光度（下図）。整列ダストは yz 平面上に分布している。各図は左から観測者が $(\theta_{\text{obs}}, \phi_{\text{obs}}) = (90^\circ, 0^\circ), (90^\circ, 30^\circ), (90^\circ, 60^\circ), (60^\circ, 0^\circ), (30^\circ, 0^\circ)$ いる場合を示す。円偏光度は 20% 近くなり、四重極構造が見られる。

【7】 暗黒物質サブハローと M31 恒星ストリームの相互作用

近年の精密観測によりアンドロメダ銀河 (M31) 周辺には、過去の衛星銀河との相互作用の痕跡が多数発見されており、特に、ハローの Andromeda Giant Southern Stream(AGSS) やディスクの2重リング構造といった銀河衝突の痕跡と見られる構造が観測と理論両面から詳細に調べられている。AGSS は M31 の中心から 100 kpc 以上にも渡って細長く分布する巨大構造で、今から約 800 億年程度昔に起こった衛星銀河との衝突で形成されたと考えられている (Fardal et al. 2007; Mori & Rich 2008)。また、この衝突に伴う力学的な加熱がディスクに与える影響と現在のディスクの厚さの制限から、 $10^{10} M_\odot$ を超えるような大質量の衛星銀河の衝突の可能性は低いことが示された。また、Block et al.(2006) は、M31 にガスとダストでできた2重リング構造を発見し、衛星銀河の M32 が 200 億年程度前に head-on 衝突してその構造ができたことを主張している。しかし、彼らは衝突した当時の M32 の質量は M31 の全質量の 10 分の 1 程度 ($\sim 10^{11} M_\odot$) だと結論づけているが、このような大質量の銀河が衝突した場合、ディスク加熱によりディスクの厚さが増大し、現在の観測と矛盾すると考えられる (Mori & Rich 2008)。そこで我々は小質量の衛星銀河の衝突により AGSS と2重リング構造の関連性について N 体/SPH シミュレーションによって調べている。本研究では M31 のバルジとディスク、衛星銀河を粒子で表現したモデルで衝突の N 体シミュレーションを行った結果、解析結果の予想通り M31 銀河ディスクが完全に破壊されてしまうことを示した。つまり、Block et al.(2006) で主張されているような大質量衛星銀河の衝突モデルとは、矛盾する結果が得られたことになる。

【8】 Dark Matter Sub-halo の力学進化

コールドダークマターモデルにおける階層的構造形成において、矮小銀河程度の低質量ダークマターハローはその銀河形成におけるビルディングブロックとして重要な役割を果たし、その進化史を調査することはダークマターの性質を知るための鍵となる。本年度は、質量範囲が 100 万から 100 億太陽質量程度にある矮小銀河サイズのダークマターハローの力学進化と質量進化を、最新の超高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションのデータ解析を行った。ここでは、27 個の銀河系サイズのホストダークマターハローの重力ポテンシャルに束縛された総数 30 万個のダークマターサブハローのデータを抽出し、サブハローの最大回転速度とその位置の進化の様子を統計的に解析した。それにより、ホストハローの潮汐力による剥ぎ取りの効果と最大回転速度の進化を定量的に示すことができた。また、これらのサブハローの質量密度分布を Navarro-Frenk-White 質量密度関数でフィットした際の中心集中度のパラメータとビリアル質量の関係を求め、その近似式を求めた結果、先行研究の Ishiyama and Ando (2020) の結果と矛盾がない事が分かった。さらに、ここで得られた理論予言と矮小銀河から銀河団の観測データを比較・検討し、その妥当性を議論した。分光観測による銀河の回転曲線や速度分散のデータ、銀河群・銀河団の高温ガスから X 線観測データ及び銀河団の重力レンズ効果から求めたダークマターハローの質量分布のデータ等、7 術にも及ぶ質量範囲でコールドダークマターモデルの予言が、観測を矛盾なく説明できることを明らかにした。

【9】 ダークマターサブハロー衝突によるダークマター欠乏銀河の形成過程

銀河形成の標準模型であるコールドダークマターによる階層的構造形成論では、銀河には恒星質量の約 100 倍以上のダークマターが存在していると考えられている。しかし、楕円銀河 NGC1052 に付随する衛星銀河 NGC1052-DF2 や NGC1052-DF4 が、理論的に予測されるダークマター質量の 1/400 程度しかないダークマター欠乏銀河であることが発表された (vanDokkum et al. 2018, 2019)。加えて、HI リッチな 6 つの UDGs (Mancera Pina et al. 2019) や、バリオンが支配的な 19 個の矮小銀河 (Guo et al. 2020) が報告されている。このような銀河が存在することは、現在のコールドダークマターを基本とした標準銀河形成論では非常に困難であり、それらの形成シナリオを検討する必要がある。我々はガスとダークマターの物理的性質の違いに着目し、ガスを含んだダークマターサブハロー同士の衝突によってダークマター欠乏銀河が形成される可能性を調査している。一次元流体モデルによる解析からダークマター欠乏銀河やダークマターを多く含む銀河が形成される衝突速度の条件を見出し、三次元銀河形成シミュレーションからダークマター欠乏銀河が形成されることを示した。本研究ではこれまでのモデルを発展させ、サブハローの金属量の違いによる効果を調査した。その結果、金属量 $Z = 10^{-3} Z_{\odot}$ のガスを含む質量 $10^9 M_{\odot}$ 同士のサブハロー衝突シミュレーションでは、 $Z = 0$ の衝突に比べ星形成効率が上昇し、ダークマター欠乏銀河の形成過程に影響を与えることがわかった。

【10】 原始銀河団形成シミュレーション

近年の広域銀河サーベイ観測によって、初期宇宙において銀河が密集している高密度領域が続々と発見された。これらは最終的に銀河団へと進化すると考えられていることから、原始銀河団と呼ばれている。原始銀河団では、爆発的星形成銀河や超巨大ブラックホールなど多様な天体が形成されていることが分かっている。しかしながら、宇宙の高密度領域で銀河進化がどのように進むのかは分かっていない。そこで、我々は原始銀河団シミュレーションプロジェクト FOREVER22 を立ち上げ、原始銀河団とその領域での銀河形成・進化について調べた。結果として、原始銀河団は大規模なフィラメント構造の交点で形成され、大量のガス降着によって爆発的な星形成が誘起されていることが分かった（図参照）。また、このような大質量銀河では星の光の大半が星間ダストに吸収されるため、銀河は赤外線で明るく輝き、そのフラックスは近年のアルマ望遠鏡による観測結果を見事に再現する事が分かった (Yajima et al. 2022, MNRAS, 509, 4037)。そして、大質量銀河ではそ

の重力ポテンシャルの深さから、星やブラックホールからのフィードバックに打ち勝ってガスが銀河中心へと流入するため、ブラックホール質量が1億太陽質量以上の超巨大ブラックホールへと成長することを示した。

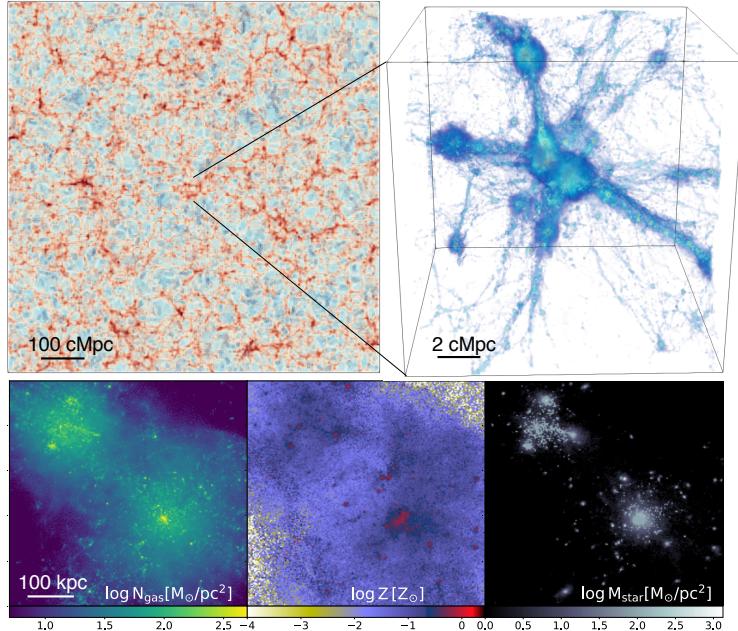


図 2: 赤方偏移 3 におけるダークマターの大域的分布（左上）と原始銀河団周囲のガス分布（右上）。下段のパネルはそれぞれメンバーの大質量銀河のガス（左），重元素（中），星（右）の分布である。

【11】 生体光拡散トモグラフィーの数値的研究（計算メディカルサイエンス事業部：計算光バイオイメージング）

波長 700-1000 ナノメートルの近赤外光を使った拡散トモグラフィーは、非侵襲かつ被曝が無い安全な医療診断技術として期待されている。しかしながら、近赤外光は生体内を散乱しながら複雑な経路で伝播していくため、診断には輻射輸送シミュレーションによる光伝播のモデルがあらかじめ必要となる。特に、生体光イメージングではピコ秒オーダーの高時間分解能、強い非等方散乱、反射、屈折の効果を取り入れる必要がある。我々は、これらの効果を全て導入した新しい輻射輸送計算コード TRINITY を開発し、生体模擬物質ファントムに対する光パルス照射実験と比較研究を行った (Yajima, Abe, Umemura, Takamizu, Hoshi, 2022, JQSRT, 277, 107948)。結果として、波形が計測データと一致する事を確認した。また、空気層がある場合の数値実験も行い、境界の反射・屈折、光速の違いによる周囲の媒質よりも早い光伝播などについて再現する事に成功した（図 3）。

このような数値シミュレーションを用いた診断を臨床応用へと発展させるためには、機械学習などによる逆問題解析が有用と考えられる。しかしながら、生体光イメージングでは教師データとして使用出来る臨床データがほとんど無い。そのため、輻射輸送シミュレーションにより、模擬計測データを作成する必要がある。その際に、多数のパラメータについてシミュレーションを行う必要がある事から、高速高精度な輻射輸送計算コードが必要となる。我々はまず Wavelet 法を導入する事で、場所により輻射場の角度分解能を自動的に変化させるアルゴリズムを開発した。また、計算コードの GPU 化を行い、輻射輸送の全ての部分を GPU 上で計算可能にした。これらの改良により、精度を保ったまま 10 倍以上の加速を実現する事が出来た (Abe, Yajima, Umemura, et al. 投稿準備中)。

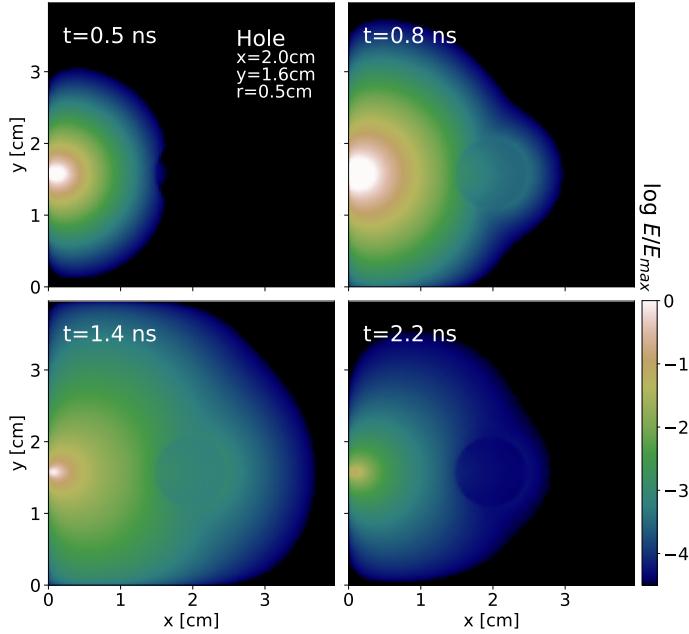


図 3: 生体模擬物質ファントムへの近赤外光パルス照射のシミュレーション。中心に空気層を置いている。色は光のエネルギー密度を示している。

【12】 スーパーコンピュータ富岳を用いた宇宙大規模構造におけるニュートリノの数値シミュレーション

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、宇宙大規模構造におけるニュートリノの力学的影響を計算する N 体シミュレーションと Vlasov シミュレーションのハイブリッドコードの最適化を行った。

本年度は富岳の全システムである約 150000 ノードを使った最適化を実施し、重力計算における高速フーリエ変換や MPI 通信の改良を行うことで、strong scaling で 82–93%，weak scaling で 82–91% という高い並列化効率を達成した。また、この最適化によって得られたコードで富岳の全システムを用いた世界最大規模の Vlasov シミュレーションを実現することに成功した(図 4)。この数値シミュレーションは中国の Tianhe-2 スーパーコンピュータで行われたこれまで世界最大のニュートリノの N 体シミュレーションと同等の計算領域と空間分解能をもつものであるが、我々の数値シミュレーションでは従来の N 体シミュレーションのようなショットノイズが発生することなく従来の 10 分の 1 程度の短い時間でシミュレーションを終えることが出来た。この成果をまとめた論文は、2021 年の ACM Gordon-Bell Prize のファイナリストに選ばれた。

【13】 宇宙大規模構造形成に対するニュートリノの力学的影响

プ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。

本年度は、ニュートリノのシミュレーション手法としてこれまで採用してきた N 体シミュレーションと我々が初めて採用した Vlasov シミュレーションの計算精度・計算コストを含めた詳細な比較を行い、宇宙大規模構造の密度揺らぎのパワースペクトルを調べる手段としては従来の N 体シミュレーションでも十分な計

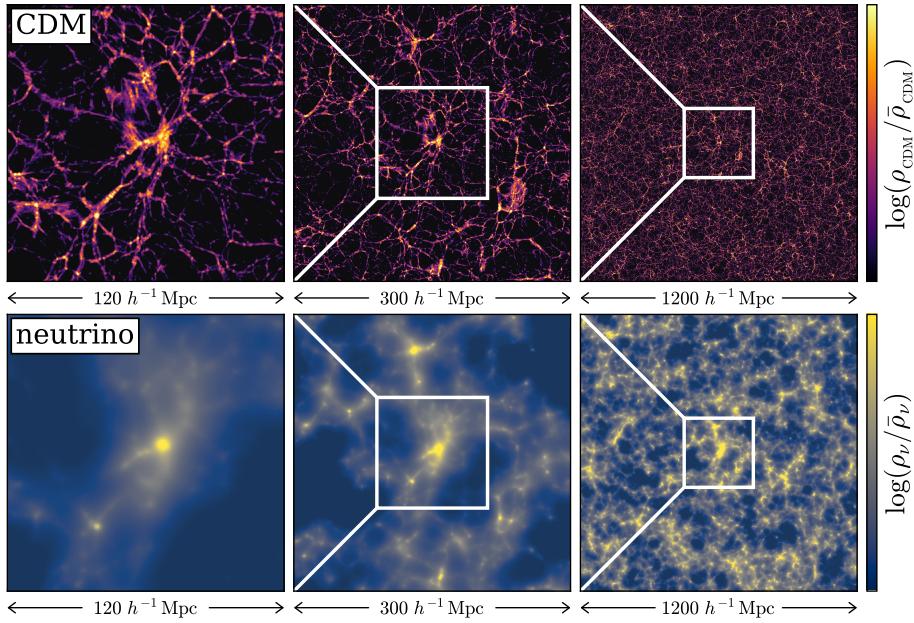


図 4: 富岳の全システムを用いて実行した世界最大規模の Vlasov シミュレーションで得られた、CDM(上段)とニュートリノ(下段)の密度分布。

算精度が得られるものの、ニュートリノの密度揺らぎのパワースペクトルやニュートリノ航跡などのニュートリノ焦点を絞った物理量を調べるための数値シミュレーション手法としては N 体シミュレーションよりも Vlasov シミュレーションの方が格段に優れていることを確認した。

また、ニュートリノ質量固有値の縮退が解けている場合にニュートリノの質量階層の情報が宇宙大規模構造にどのように反映されるかを、質量毎に複数のニュートリノの分布関数を解くことで数値シミュレーションで調べた。

【14】 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:

- studied the interstellar medium in the late-stage gas-rich galaxy merger NGC 6240 using a suite of emission-line maps at very high resolution from the Hubble Space Telescope, Keck with Adaptive Optics, and the Atacama Large Millimeter/sub-millimeter Array (ALMA). NGC 6240 hosts a superwind driven by intense star formation and possibly two active nuclei; the outflows produce bubbles and filaments seen in shock tracers from warm molecular gas to optical mildly ionized gas and hot highly ionized plasma (see Fig. 5). In the most distinct bubble, we discovered that the molecular clouds are partly shielded

- and survive all the explosive activity. The data in this work have provided in depth interpretations of how multi-phase galactic gas is affected in galaxy collisions and the AGN feedback and star formation mergers trigger. The results are summarized in Medling et al. incl. Wagner 2021, ApJ 923 2 160;
2. discovered a spatially resolved, massive molecular outflow, carrying 75% of the gas in the central region of the host galaxy of an AGN hosting a radio jet, B2 0258+35. The outflow coincides spatially with the radio jet 540 pc offset from the core, unambiguously pointing to the jet as the driver of this phenomenon. The modest luminosity of the radio source confirms predictions of our simulations that jets of low-luminosity radio sources carry enough power to drive such outflows and significantly affect nuclear gas reservoirs in their host galaxies. Figures 6a and 6b show the black hole jet interacting with the gaseous disc and dispersing the gas in the central nuclear region of the galaxy. Sources such as B2 0258+35 comprise the majority of the radio AGN population and represent an important mechanism of the co-evolution of black holes and galaxies. These results were published in Nature Astronomy, with our simulation results used as the cover illustration of the issue (Murthy, S., Morganti, R., Wagner, A. Y. et al. 2022, Nature Astronomy, 6, 488 – 495);
 3. constructed models of the putative Milky Way AGN jet that is thought to have inflated the FERMI bubbles. We identify vestiges of the interaction of the jets with the circumnuclear disc as well as clouds on ~ 100 pc scales. We have constructed the first models to reproduce the new MeerKAT radio data and eROSITA X-ray data of the inner regions of the FERMI bubble (see Fig. 7). These results have been published in a very detailed Astrophysical Journal paper (G. N. Cecil, A. Y. Wagner, et al. 2021, ApJ, 922, 2). The results provide predictions for the properties of the central supermassive black hole of our galaxy (Sgr A*) inferred from recent Event Horizon Telescope observations, in particular the black hole spin axis orientation;
 4. established how AGN jet driven turbulence in gas-rich disc galaxies modify the star-formation rate in the disc. The statistical theory of star-formation is built around the statistical properties of the turbulent molecular clouds in which stars form. We applied this statistical theory of star-formation to the turbulent discs of our simulated radio-galaxies and found that the effect of the modification of

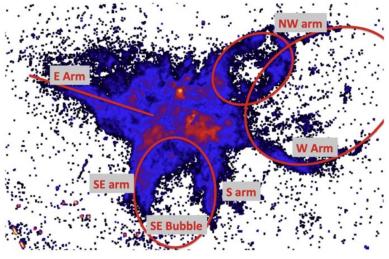
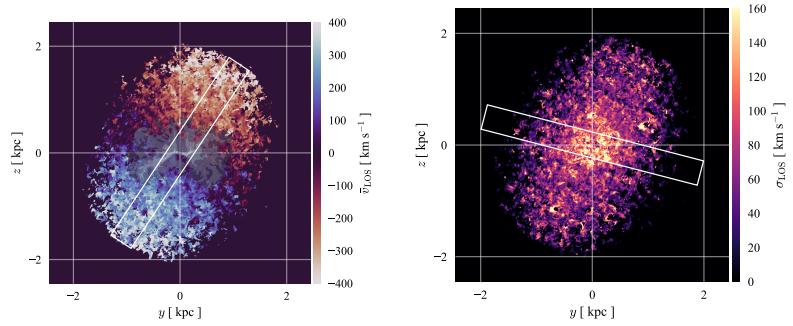


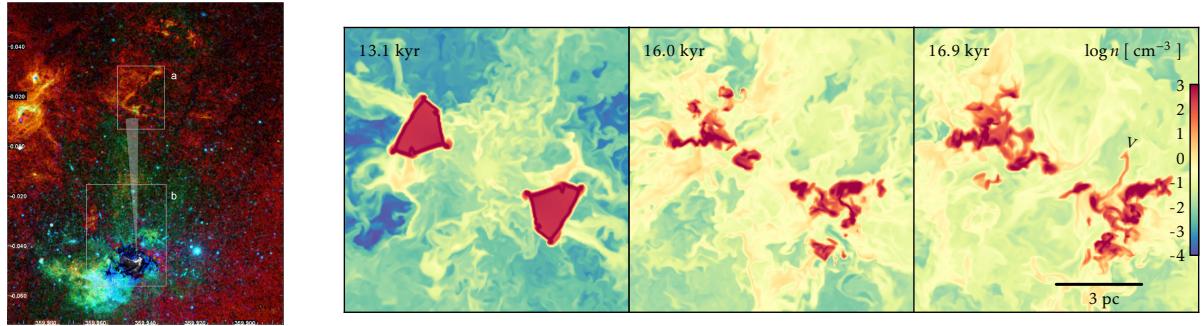
図 5: Map of $\text{H}\alpha + [\text{NII}]$ of NGC 6240 with schematic identification of the filamentary and bubble features which have been created by the merger event and the subsequent AGN outbursts. The multi-phase data shed light on the gas dynamics ensuing the violent collision and AGN feedback.



(a) Line-of-sight velocity map (colormap) with the radio emission from the black hole jet (grey-scale filled contours).

(b) Velocity dispersion of the gas in the disc of the galaxy B2 0258+35 (colormap). Note the increased velocity dispersion in the central region where the jet is clearing the nuclear gas.

図 6: Simulated velocity maps resulting from jet-interstellar-medium interactions of the gaseous disc in the galaxy B2 0258+35.



(a) Superposition of multi-wavelength observational evidence of jet-ISM interactions in the Milky Way of our galaxy. The cone shows our inferred jet orientation.

(b) Simulations of the remnants of the putative Milky Way jet that has interacted with the circum-nuclear disc. The jet slowly ablates gas from the circum-nuclear disc and creates a highly turbulent environment. In cases where the disc is clumpy, the gas fragments due to thermal instability and forms dense filaments. Some of the features of the interactions may explain anomalous features seen in ALMA observations of the circum-nuclear disc.

図 7: Observational and simulation results from our hunt for signatures of the Milky Way's putative central black hole jets.

turbulence by the jets on star formation is complicated but non-negligible. Depending on the orientation of the jet, star-formation can be slightly suppressed or slightly enhanced compared to the case without jets. This is the first quantitative study of feedback by AGN-driven turbulence, which may prove to be a new mode of AGN feedback, important in the majority of intermediate and low-mass galaxies which tend not to harbour powerful AGN. These results were published in Mandal, A. et al, incl. Wagner, A. Y., 2021, MNRAS, 508, 4, 4738.

【15】 星団形成における輻射流体力学過程の研究

分子雲内の星団形成は、宇宙全体や銀河の星形成史を決める重要なプロセスである。また、大部分の星は星団の一員として誕生することから、星団形成は星形成過程においても重要である。しかし、星団形成については非一様なガス構造における大質量星の輻射フィードバックを考慮する必要があることから、輻射流体シミュレーションを用いた研究が必要となる。我々は、適合格子細分化法を採用した流体コードに、M1-closure 法による輻射輸送計算を実装することにより、星団形成用の輻射流体シミュレーションコードを開発した。このコードを用いて、星団形成について以下のことを明らかにした。

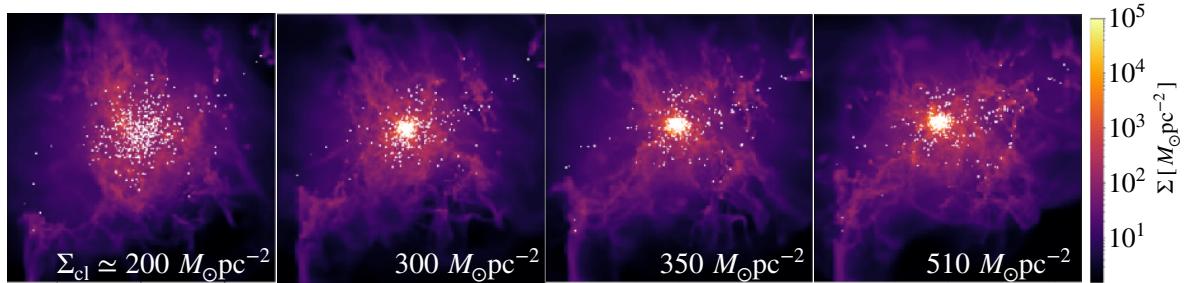


図 8: 星団の性質と星形成雲の面密度の関係。各図はガスの面密度、白点は星粒子の位置を示す。星形成雲がコンパクトな場合（雲面密度が $\Sigma_{\text{cl}} \gtrsim 300 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ となる場合）、高星密度星団が形成される。

1. YMC 形成条件の導出

大質量星団は太陽質量の 10 万倍以上の総質量を持つ星団である。観測から大質量星団には、その誕生時から星密度が異なる 2 つの種類の星団があることが知られている。一つは、Young massive star cluster (YMC) と呼ばれ、星密度が $10^3 M_{\odot} \text{pc}^{-3}$ を超える。銀河系内に存在する古い大質量星団である球状星団も、この YMC が残存した星団だと考えられている。もう一つは、Leaky star cluster (LSC) と呼ばれる星密度が低い星団である。シミュレーションから、雲が十分コンパクトであり、星団からの重力が大質量星からの電離フィードバックに打ち勝つと、星団へのガス供給が継続し、YMC が形成可能であることが判明した(図 8 参照)。また、雲がコンパクトではない場合には、電離領域によるガス蒸発が効率的に働き、星密度の低い LSC が形成されることを示した。さらに、解析的モデルを構築し、ガス雲の面密度について YMC の形成条件を導出し、数値計算をうまく再現することにも成功した。(Fukushima, Yajima, 2021, MNRAS, 506, 5512)

2. FUV フィードバック効果

大質量星からは電離領域を形成する極紫外線光 (EUV) の他にも、低エネルギーである遠紫外線光 (FUV) も放出される。FUV 光は HI ガスに吸収されないために、水素分子の光解離やダスト粒子における光電効果を介して、電離領域の外側の広大な領域において、ガスを加熱することが可能である。本研究では、星団形成における FUV 光による星形成の抑制について調べた。結果として、ガスの面密度が $\Sigma < 25 M_{\odot} \text{pc}^{-2}$ とガス雲がコンパクトではない、もしくはガスの乱流の運動エネルギーが雲の重力エネルギーより十分大きい場合に、FUV 光は星形成抑制に有効であることを示した。しかし、よりコンパクトな雲では、FUV 光は有効ではなく、EUV 光による電離フィードバックの方が重要であることも示した。(Fukushima, Yajima, 2022, MNRAS, 511, 3346)

4. 教育

【学位論文】

<博士論文>

1. 阿左美 進也

Suppression of H₂ formation due to Ly α feedback in early cosmological objects

<修士論文>

1. 佐藤 大樹

光音響波伝播シミュレーションと機械学習によるヒト頭部の血管分布解析

2. 尾形 絵梨花

Hoyle-Lyttleton accretion on to black hole accretion disks with super-Eddington luminosity for dusty gas

3. 武者野 拓也

超臨界ブラックホール降着流におけるライマンアルファ輝線の輻射力の計算

<学士論文>

1. 田中 恵

AMR 法を用いた銀河ホットハローにおける AGN フィードバックサイクルの流体シミュレーション

2. 新井 聰一

ダストに覆われた円盤銀河の星形成の研究

3. 岩本 歩夢

原始惑星系円盤における乱流とダスト成長

4. 内田 雄揮

銀河団中の非熱的電子による Sunyaev-Zel'dovich 効果

5. 古谷田 和真

Riemann 問題の解析

6. 杉原 和斗

銀河衝突で探るダークマター halo の非球対称質量分布

7. 島田 悠愛

突発的超臨界降着現象の研究

8. 竹田 麟太郎

特殊相対性理論的光子拡散の研究

9. 竹林 晃大

コンプトン散乱を考慮した偏光 X 線の輻射輸送計算

10. 古賀 実

ライマン α 光の円偏光生成とホモキラリティ問題

【集中講義】

1. 大須賀健. 物理学特別講義 C 「輻射流体力学の基礎とコンパクト天体への降着流の物理」, 広島大学.
11/11, 11/18, 11/25.

5. 受賞・外部資金・知的財産権等

【受賞】

1. 梅村 雅之 and 石原 卓. 日本シミュレーション学会ベストオーラー賞, 「宇宙物理におけるナビエ・ストークス方程式の直接数値計算 一原始惑星系円盤乱流中のダスト成長ー」, シミュレーション, 39-2, 101 (2020). Aug. 24, 2021. URL: https://www.jsst.jp/jsst_info/award/R03winner.html.

【外部資金】

<代表者>

- 基盤研究 (A) (一般) H31 年度～R5 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」
(R3 年度 810 万円／全体 3460 万円)
- 基盤研究 (A) (一般) R3 年度～R7 年度 : 大須賀健
「超大規模計算と超高精度観測で解き明かすブラックホールジェットの駆動機構と多様性」
(R3 年度 420 万円／全体 3130 万円)
- 基盤研究 (C) (一般) R2 年度～R5 年度 : 森正夫
「ダークサテライトは存在するか? —コールドダークマターモデルにおける諸問題の解明」
(R3 年度 100 万円／全体 330 万円)
- JST 創発的研究支援事業 R3 年度～R9 年度 : 矢島秀伸
「宇宙物理輻射輸送計算で拓く新しい生体医用光学」

(R3 年度 641 万円／全体 5000 万円)

- 基盤研究 (A) R3 年度～R7 年度：矢島秀伸

「高精度原始銀河団シミュレーションによる銀河形成と宇宙再電離研究の新展開」

(R3 年度 680 万円／全体 3210 万円)

- 新学術領域研究（研究領域提案型）R2 年度～R3 年度：矢島秀伸

「輻射流体計算で解き明かす初期宇宙の高密度星団形成」

(R3 年度 180 万円／全体 370 万円)

- ALMA 共同科学研究事業（区分 A）H31 年度～R3 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」

(R3 年度 100 万円／全体 300 万円 + 研究員雇用経費 3 年)

- 基盤研究 (B)（一般）R3 年度～R6 年度：吉川耕司

「宇宙大規模構造からひも解く CDM パラダイムを超えたダークマター」

(R3 年度 90 万円／全体 1150 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」

(R3 度 90 万円／全体 260 万円)

- 若手研究 H30 年度～R3 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」

(R3 年度 50 万円／全体 200 万円)

<分担者>

- 基盤研究 (B) R3 年度～R6 年度：梅村雅之（代表者：高橋労太）

「高精度一般相対論的輻射輸送で探る超巨大ブラックホールの時空構造と起源」

(R3 年度分担金 10 万円／分担金全体 40 万円)

- 基盤研究 (B) R3 年度～R6 年度：大須賀健（代表者：高橋労太）

「高精度一般相対論的輻射輸送で探る超巨大ブラックホールの時空構造と起源」

(R3 年度分担金 10 万円／分担金全体 40 万円)

- 基盤研究 (B) R3 年度～R6 年度：朝比奈雄太（代表者：高橋労太）

「高精度一般相対論的輻射輸送で探る超巨大ブラックホールの時空構造と起源」

(R3 年度分担金 20 万円／分担金全体 40 万円)

- 高性能汎用計算機高度利用事業，R2 年度～R4 年度：大須賀健（代表者：牧野淳一郎）

「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」（サブ課題 C ブラックホールと超新星爆発における高エネルギー天体现象の解明）

(R3 年度 425 万円／分担金全体 1004 万円)

- 基盤研究 (A)（一般）H29 年度～R3 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」

(R3 年度分担金 30 万円／分担金全体 195 万円)

- 高性能汎用計算機高度利用事業，R2 年度～R4 年度：吉川耕司（代表者：牧野淳一郎）

「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」（サブ課題 A 大規模数値計算と大型観測データのシナジーによる宇宙の進化史の解明）

(R3 年度 24 万円／分担金全体 894 万円)

- 基盤研究 (A) H30 年度～R4 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」

(R3 年度分担金 10 万円／分担金全体 40 万円)

- 基盤研究 (B) R3 年度～R6 年度：矢島秀伸（代表者：伊王野大介）

「超高分解能サブミリ波観測による大質量銀河の形成過程の解明」

(R3 年度分担金 5 万円／分担金全体 77 万円)

- 基盤研究 (B) R2 年度～R5 年度：梅村雅之（代表者：石原卓）

「乱流の大規模直接数値計算から探る原始惑星系円盤のダスト成長の新シナリオ」

(R3 年度分担金 10 万円／分担金全体 40 万円)

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. Rhythm Shimakawa, Masayuki Tanaka, Satoshi Kikuta, and Masao Hayashi. “H α emission in the outskirts of galaxies at $z = 0.4$ ”. *Publications of the Astronomical Society of Japan* 74 (Feb. 2022). psab127, pp. 318–325. ISSN: 0004-6264. DOI: 10.1093/pasj/psab127. eprint: <https://academic.oup.com/pasj/advance-article-pdf/doi/10.1093/pasj/psab127/42892943/psab127.pdf>.
2. Kohji Yoshikawa, Satoshi Tanaka, and Naoki Yoshida. “A 400 Trillion-Grid Vlasov Simulation on Fugaku Supercomputer: Large-Scale Distribution of Cosmic Relic Neutrinos in a Six-Dimensional Phase Space”. *Proceedings of the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis* (Nov. 2021), pp. 1–11. DOI: 10.1145/3458817.3487401. URL: <https://doi.org/10.1145/3458817.3487401>.
3. Yoshiaki Ono, Ryohei Itoh, Takatoshi Shibuya, Masami Ouchi, Yuichi Harikane, et al. “SILVERRUSH X: Machine Learning-aided Selection of 9318 LAEs at $z = 2.2, 3.3, 4.9, 5.7, 6.6$, and 7.0 from the HSC SSP and CHORUS Survey Data”. *ApJ* 911.2, 78 (Apr. 2021), p. 78. DOI: 10.3847/1538-4357/abea15. arXiv: 2104.02177 [astro-ph.GA].
4. Yoshiiki Sakurai, Takashi Ishihara, Hitomi Furuya, Masayuki Umemura, and Kenji Shiraishi. “Effects of the Compressibility of Turbulence on the Dust Coagulation Process in Protoplanetary Disks”. *ApJ* 911.2, 140 (Apr. 2021), p. 140. DOI: 10.3847/1538-4357/abe9ba.
5. Takashi Kojima, Masami Ouchi, Michael Rauch, Yoshiaki Ono, incl. Masayuki Umemura, et al. “EMPRESS. II. Highly Fe-enriched Metal-poor Galaxies with ~ 1.0 (Fe/O) $_{\odot}$ and 0.02 (O/H) $_{\odot}$: Possible Traces of Supermassive ($> 300 M_{\odot}$) Stars in Early Galaxies”. *ApJ* 913.1, 22 (May 2021), p. 22. DOI: 10.3847/1538-4357/abec3d. arXiv: 2006.03831 [astro-ph.GA].
6. Anne M. Medling, Lisa J. Kewley, Daniela Calzetti, George C. Privon, incl. Alexander Y. Wagner, et al. “Tracing the Ionization Structure of the Shocked Filaments of NGC 6240”. *ApJ* 923.2, 160 (Dec. 2021), p. 160. DOI: 10.3847/1538-4357/ac2ebb. arXiv: 2111.01025 [astro-ph.GA].
7. Misaki Mizumoto, Mariko Nomura, Chris Done, Ken Ohsuga, and Hirokazu Odaka. “UV line-driven disc wind as the origin of UltraFast Outflows in AGN”. *MNRAS* 503.1 (May 2021), pp. 1442–1458. DOI: 10.1093/mnras/staa3282. arXiv: 2003.01137 [astro-ph.HE].
8. Yuta Tarumi, Takuma Suda, Freeke van de Voort, Shigeki Inoue, Naoki Yoshida, et al. “s-process enrichment of ultrafaint dwarf galaxies”. *MNRAS* 505.3 (Aug. 2021), pp. 3755–3766. DOI: 10.1093/mnras/stab1487. arXiv: 2009.10096 [astro-ph.GA].

9. Shigeki Inoue, Toshinobu Takagi, Atsushi Miyazaki, Erin Mentuch Cooper, Fumi Egusa, et al. "Instability analysis for spiral arms of local galaxies: M51, NGC 3627, and NGC 628". *MNRAS* 506.1 (Sept. 2021), incl. Yajima, H., pp. 84–97. DOI: 10.1093/mnras/stab1729. arXiv: 2103.12130 [astro-ph.GA].
10. Hajime Fukushima and Hidenobu Yajima. "Radiation hydrodynamics simulations of massive star cluster formation in giant molecular clouds". *MNRAS* 506.4 (Oct. 2021), pp. 5512–5539. DOI: 10.1093/mnras/stab2099. arXiv: 2104.10892 [astro-ph.GA].
11. Mariko Nomura, Kazuyuki Omukai, and Ken Ohsuga. "Radiation hydrodynamics simulations of line-driven AGN disc winds: metallicity dependence and black hole growth". *MNRAS* 507.1 (Oct. 2021), pp. 904–913. DOI: 10.1093/mnras/stab2214. arXiv: 2107.14256 [astro-ph.GA].
12. Shigeki Inoue, Naoki Yoshida, and Lars Hernquist. "Fragmentation of ring galaxies and transformation to clumpy galaxies". *MNRAS* 507.4 (Nov. 2021), pp. 6140–6147. DOI: 10.1093/mnras/stab2527. arXiv: 2103.09873.
13. Ankush Mandal, Dipanjan Mukherjee, Christoph Federrath, Nicole P. H. Nesvadba, Alexander Y. Wagner, et al. "Impact of relativistic jets on the star formation rate: a turbulence-regulated framework". *MNRAS* 508.4 (Dec. 2021), pp. 4738–4757. DOI: 10.1093/mnras/stab2822. arXiv: 2109.13654 [astro-ph.GA].
14. Takaaki Kitaki, Shin Mineshige, Ken Ohsuga, and Tomohisa Kawashima. "The origins and impact of outflow from super-Eddington flow". *PASJ* 73.2 (Apr. 2021), pp. 450–466. DOI: 10.1093/pasj/psab011.
15. Takumi Ogawa, Ken Ohsuga, Yoshihiro Makino, and Shin Mineshige. "Variability of Comptonized X-ray spectra of a super-Eddington accretor: Approach using Boltzmann radiation transport". *PASJ* 73.3 (June 2021), pp. 701–715. DOI: 10.1093/pasj/psab031.
16. Yuh Tsunetoe, Shin Mineshige, Ken Ohsuga, Tomohisa Kawashima, and Kazunori Akiyama. "Polarization images of accretion flow around supermassive black holes: Imprints of toroidal field structure". *PASJ* 73.4 (Aug. 2021), pp. 912–928. DOI: 10.1093/pasj/psab054. arXiv: 2012.05243 [astro-ph.HE].
17. Erika Ogata, Ken Ohsuga, and Hidenobu Yajima. "Hoyle-Lyttleton accretion on to black hole accretion disks with super-Eddington luminosity for dusty gas". *PASJ* 73.4 (Aug. 2021), pp. 929–942. DOI: 10.1093/pasj/psab055.
18. Keisuke Sato, Yusuke Miyamoto, Nario Kuno, Dragan Salak, Alexander Y. Wagner, et al. "Relating gas dynamics to star formation in the central region of the barred spiral galaxy NGC 613". *PASJ* 73.4 (Aug. 2021), pp. 1019–1035. DOI: 10.1093/pasj/psab060.
19. Yoshiki Matsuoka, Kazushi Iwasawa, Masafusa Onoue, Takuma Izumi, incl. Satoshi Kikuta, et al. "Subaru High-z Exploration of Low-luminosity Quasars (SHELLQs). XVI. 69 New Quasars at $5.8 < z < 7.0$ ". *ApJS* 259.1, 18 (Mar. 2022), p. 18. DOI: 10.3847/1538-4365/ac3d31. arXiv: 2111.12766 [astro-ph.GA].
20. Tomoaki Ishiyama, Kohji Yoshikawa, and Ataru Tanikawa. "High Performance Gravitational N-Body Simulations on Supercomputer Fugaku". *International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region* (Jan. 2022), pp. 10–17. DOI: 10.1145/3492805.3492816. URL: <https://doi.org/10.1145/3492805.3492816>.
21. Moun Meenakshi, Dipanjan Mukherjee, Alexander Y. Wagner, Nicole P. H. Nesvadba, Raffaella Morganti, et al. "The extent of ionization in simulations of radio-loud AGNs impacting kpc gas discs". *MNRAS* 511.2 (Apr. 2022), pp. 1622–1636. DOI: 10.1093/mnras/stac167. arXiv: 2201.06797 [astro-ph.GA].

22. Hajime Fukushima and Hidenobu Yajima. "Far and extreme UV radiation feedback in molecular clouds and its influence on the mass and size of star clusters". *MNRAS* 511.3 (Apr. 2022), pp. 3346–3364. DOI: 10.1093/mnras/stac244. arXiv: 2201.09995 [astro-ph.GA].
23. M. Abe, H. Yajima, S. Khochfar, C. Dalla Vecchia, and K. Omukai. "Formation of the first galaxies in the aftermath of the first supernovae". *MNRAS* 508.3 (Dec. 2021), pp. 3226–3238. DOI: 10.1093/mnras/stab2637. arXiv: 2105.02612 [astro-ph.GA].
24. Gerald Cecil, Alexander Y Wagner, Joss Bland-Hawthorn, Geoffrey V Bicknell, and Dipanjan Mukherjee. "Tracing the Milky Way's Vestigial Nuclear Jet". en. *ApJ* 922.2 (Dec. 2021), p. 254. ISSN: 0004-637X. DOI: 10.3847/1538-4357/ac224f. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.3847/1538-4357/ac224f/meta>.
25. Dipanjan Mukherjee, Geoffrey V Bicknell, and Alexander Y Wagner. "Resolved simulations of jet-ISM interaction: Implications for gas dynamics and star formation". en. *Astron. Nachr.* 342 (Nov. 2021), pp. 1140–1145. ISSN: 0004-6337, 1521-3994. DOI: 10.1002/asna.20210061. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/asna.20210061>.
26. W. E. Banda-Barragán, M. Brüggen, V. Heesen, E. Scannapieco, incl. A. Y. Wagner, et al. "Shock-microlcloud interactions in galactic outflows - II. Radiative fractal clouds and cold gas thermodynamics". *MNRAS* 506.4 (Oct. 2021), pp. 5658–5680. DOI: 10.1093/mnras/stab1884. arXiv: 2011.05240 [astro-ph.GA].
27. N. P. H. Nesvadba, A. Y. Wagner, D. Mukherjee, A. Mandal, R. M. J. Janssen, et al. "Jet-driven AGN feedback on molecular gas and low star-formation efficiency in a massive local spiral galaxy with a bright X-ray halo". *A&A* 654, A8 (Oct. 2021), A8. DOI: 10.1051/0004-6361/202140544. arXiv: 2103.12816 [astro-ph.GA].
28. Hidenobu Yajima, Makito Abe, Sadegh Khochfar, Kentaro Nagamine, Akio K. Inoue, et al. "FOR-EVER22: galaxy formation in protocluster regions". *MNRAS* 509.3 (Jan. 2022), pp. 4037–4057. DOI: 10.1093/mnras/stab3092. arXiv: 2011.11663 [astro-ph.GA].
29. H. Yajima, M. Abe, M. Umemura, Y. Takamizu, and Y. Hoshi. "TRINITY: a three-dimensional radiative transfer code for in-vivo bioimaging". *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* 277 (Oct. 2021), p. 107948. DOI: 10.1016/j.jqsrt.2021.107948.

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

1. K. Ohsuga, A. Inoue, A. Utsumi, T. Ogawa, Y. Asahina, et al. "Numerical Simulations of Accretion Flows and Outflows around Black Holes/Neutron Stars". European Astronomical Annual Meeting SS3 :Black holes under the magnifying glass of XRISM and Athena (Online, June 28–July 2, 2021).
2. Dipanjan Mukherjee, Alexander Wagner, Geoffrey Bicknell, and Nicole Nesvadba. "Simulating the jet-ISM interaction in GPS & CSS galaxies". 6th Workshop on Compact Steep Spectrum and GHz-Peaked Spectrum Radio Sources (Toruń, Poland, Online, May 10–14, 2021). URL: <http://cssgps2020.umk.pl/>.
3. H. Yajima. "Cosmological simulations of massive galaxies in protocluster regions". Sino-French Workshop on Confronting Simulations with Observations of High-redshift Galaxies and (Proto)Clusters (Nanjing University (hybrid), Nov. 14–16, 2021).

4. K. Yoshikawa. "A 400 trillion-grid Vlasov simulation on Fugaku supercomputer: large-scale distribution of cosmic relic neutrinos in a six-dimensional phase space". SC21:the International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (America's Center, St Louis (hybrid), Nov. 15–19, 2021).

B) 一般講演

1. Tomoaki Ishiyama, Kohji Yoshikawa, and Ataru Tanikawa. "High Performance Gravitational N-Body Simulations on Supercomputer Fugaku". HPC Asia 2022 (online, Jan. 12–14, 2022).
2. Yuta Asahina. "General-relativistic radiation-magnetohydrodynamics simulations of black hole accretion flows based on solving the radiative transfer equation". 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Online, Oct. 8, 2021). URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/sympo20211008en/>.
3. Hajime Fukushima and Hidenobu Yajima. "Conditions for massive star cluster formation in low-metallicity environments". Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, Area workshop 2022 Winter (Online, Jan. 24, 2022).
4. K. Otaki and M. Mori. "The formation of dark matter deficient galaxies through galaxy collisions". Conference on Computational Physics (Online/Coventry University, Aug. 1–5, 2021).
5. Masao Mori. "Evolution of the local galaxies". 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Online, Oct. 8, 2021). URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/sympo20211008en/>.
6. Koki Otaki and Masao Mori. "Dark matter subhalo collisions and formation of dark-matter-deficient galaxies". Kashiwa Dark Matter symposium 2021 (Online, Nov. 29, 2021).
7. Yuka Kaneda, Yudai Kazuno, Koki Otaki, and Masao Mori. "Evolution of the sub galactic dark matter halos in the cosmological context (Best Poster Award)". Kashiwa Dark Matter symposium 2021 (Online, Nov. 29, 2021).
8. Taiki Ogiara, Takumi Ogawa, and Kenji Toma. "Matter density distribution of AGN jets". Polarized Radiation near Supermassive Black Holes (online, May 10–13, 2021). URL: <https://pcts.princeton.edu/programs/current/polarized-radiation-near-supermassive-black-holes/141>.
9. Taiki Ogiara, Tomohisa Kawashima, and Ken Ohsuga. "Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU". East Asia AGN workshop 2021 (online, Oct. 11–13, 2021). URL: <http://eaagn2021.csp.escience.cn/dct/page/1>.
10. Taiki Ogiara, Tomohisa Kawashima, and Ken Ohsuga. "Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU". From Vision to Instrument: Designing the Next-Generation EHT to Transform Black Hole Science (Online, Nov. 1–5, 2021). URL: <https://www.ngeht.org/ngeht-meeting-november-2021>.
11. Y. Tsunetoe, S. Mineshige, K. Ohsuga, T. Kawashima, and K. Akiyama. "Linear and Circular Polarization Images around Black Holes: Imprints of the Jet-driving Magnetic Fields". Polarized Radiation near Supermassive Black Holes (online, May 10–13, 2021).
12. Y. Tsunetoe, S. Mineshige, K. Ohsuga, T. Kawashima, and K. Akiyama. "Linear and Circular Polarization Images near Black Holes: Imprints of the Magnetic Fields Structure". Sixteenth Marcel Grossmann Meeting - MG16 (online, July 5–10, 2021).

13. M. Mizumoto, M. Nomura, K. Ohsuga, C. Done, and H. Odaka. "UV line driven wind simulation and UFOs". Black Hole Disc Wind conference (Online/Durham Univ. Sept. 6–9, 2021).
14. M. Nomura, K. Ohuga, C. Done, and K. Omukai. "Radiation hydrodynamics simulations of line-driven disk wind". Black Hole Disc Wind conference (Online/Durham Univ. Sept. 6–9, 2021).
15. K. Ohsuga, A. Inoue, A. Utsumi, H.R.Takahashi, T. Kawashima, et al. "Numerical simulations of disk wind around black holes". Black Hole Disc Wind conference (Online/Durham Univ. Sept. 6–9, 2021).
16. Q. B. Arnau, C. Done, C. Lacy, M. Nomura, and K. Ohsuga. "Line-driving winds: dependence on black hole properties". Black Hole Disc Wind conference (Online/Durham Univ. Sept. 6–9, 2021).
17. Ken Ohsuga. "Structure Formation in the Universe using Radiation Hydrodynamic Simulations". 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Online, Oct. 8, 2021). URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/sympo20211008en/>.
18. A. Utsumi, K. Ohsuga, H.R.Takahashi, and Y. Asahina. "Black hole spin dependence of supercritical accretion disks via general relativistic radiative magnetohydrodynamic simulations". Black Hole Astrophysics with VLBI 2022 (Online/ICRR, Feb. 7–9, 2022).
19. Y. Tsunetoe, S. Mineshige, T. Kawashima, K. Ohsuga, K. Akiyama, et al. "Linear and Circular Polarization Images and the Jet-Disk Structure in M87". Black Hole Astrophysics with VLBI 2022 (Online/ICRR, Feb. 7–9, 2022).
20. T. Kawashima, K. Ohsuga, H.R. Takahashi, and T. Hitomi. "Time dependent and multi-wavelength radiative properties of accretion flows and relativistic jets". Black Hole Astrophysics with VLBI 2022 (Online/ICRR, Feb. 7–9, 2022).
21. I.B.Lasaga, S. Mineshige, K. Ohsuga, T. Kawashima, and T. Kitaki. "Study on the outflow impact of SMBH seed at high-z through radiation hydrodynamic (RHD) simulations". Black Hole Astrophysics with VLBI 2022 (Online/ICRR, Feb. 7–9, 2022).
22. T. Ogiara, T. Kawashima, and K. Ohsuga. "Constructing synthetic images of general relativistic magnetohydrodynamic models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU". Black Hole Astrophysics with VLBI 2022 (Online/ICRR, Feb. 7–9, 2022).
23. Alexander Y. Wagner, R. Morganti, D. Mukherjee, T. Osterloo, and G. Bicknell. "Probing jet-ISM interactions and the physics of AGN feedback in the radio galaxy IC 5063 with source-tailored hydrodynamic simulations". IAU Symposium 362 "The predictive power of computational astrophysics as a discovery tool" (Online, Nov. 8–12, 2021). URL: <http://iaus362.astro.unistra.fr/IAUS362.html>.
24. Hidenobu Yajima. "Radiative transfer simulations and machine learning for in-vivo bioimaging". 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (Online, Oct. 8, 2021). URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/sympo20211008en/>.

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 福島肇. "星団形成における輻射フィードバック". 様々なスケールの衝突流による誘発的星形成～大質量星から超大質量星団まで～ (オンライン, July 7–9, 2021).
2. 福島肇 and 矢島秀伸. "低金属量星団形成". 初代星・初代銀河研究会 2021 (東北大大学 (東京分室), 京都大学 (東京分室), オンライン, Feb. 16–18, 2022).
3. 高橋博之, 大須賀健, 川島朋尚, 朝比奈雄太, 内海碧人, et al. "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". W50/SS433 研究会 (オンライン, May 18, 2021).

4. 高橋博之, 大須賀健, 川島朋尚, 朝比奈雄太, 内海碧人, et al. “ブラックホール降着円盤の数値シミュレーション；研究の今後と発展”. ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
5. 川島朋尚, 秋山和徳, 大須賀健, 紀基樹, 高橋博之, et al. “ブラックホール近傍のプラズマ降着流・噴出流のダイナミクスと観測的特徴”. 「自然科学における階層と全体」シンポジウム (Online, Jan. 6–7, 2022).
6. 大須賀健, 高橋博之, 川島朋尚, 野村真理子, 朝比奈雄太, et al. “ブラックホール降着流・噴出流の研究～これまでの成果と今後の課題～”. 高エネルギー現象で探る宇宙の多様性Ⅰ (東京大学宇宙線研/Online, Oct. 18–19, 2021). URL: <https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/hea/conference211018.html/>.
7. 梅村雅之. “SMBH 形成に関する理論的課題：埋もれた AGN の役割について”. 第 5 回 FORCE 研究会「埋もれた AGN の宇宙論的進化」(Online, Dec. 3, 2021). URL: <http://www.cc.miyazaki-u.ac.jp/force/index.php/buriedagn2021>.
8. Alexander Y. Wagner. “Mechanical AGN feedback: radio-mode IGM and kpc-scale ISM interactions”. ALMA workshop 2021 “Cold outflows near and far: crossroads of our current understanding” (Online, Nov. 1–2, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/coldoutflows2021>.
9. 矢島秀伸. “初期宇宙の銀河形成：フィードバックと金属分布について”. 金属欠乏宇宙 2021 (Online, Sept. 27–30, 2021).
10. 矢島秀伸. “初期宇宙の銀河の活発な星形成：その内的要因と外的な要因について”. 銀河星形成研究会 2021 (Galactic Star Formation 2021) (Online, Dec. 2, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/galsf2021>.
11. 吉川耕司. “富岳における無衝突自己重力系の Vlasov シミュレーション”. 電子情報通信学会 第 15 回 アクセラレーション技術発表討論会「富岳による高度科学技術計算」(オンライン, Sept. 2–2, 2021).
12. 吉川耕司. “富岳による宇宙論的ニュートリノの Vlasov シミュレーション”. 第 4 回 HPCI コンソーシアムシンポジウム (online, Oct. 28, 2021).

B) その他の発表

1. 安部牧人, 矢島秀伸, 梅村雅之, 高水裕一, and 星詳子. “生体光イメージングに向けた大規模輻射輸送数値計算コードの開発: 球面 wavelet 変換を用いた高速化”. 日本光学会年次学術講演会 2021 (オリンピックセンター, ハイブリッド開催, Oct. 26–29, 2021). URL: <https://opt-j.com/opj2021/>.
2. 朝比奈雄太. “ジェットと星間水素ガス相互作用による Westerlund2 星団方向の分子雲形成シミュレーション”. Japan SKA Consortium Science Strategy Workshop 2021 (オンライン, July 12, 2021–July 14, 2020).
3. 朝比奈雄太, 大須賀健, and 高橋博之. “一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMA を用いたブラックホール降着流シミュレーションによるスピン依存性”. 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
4. 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “輻射輸送方程式を解く一般相対論的磁気流体コード INAZUMA によるブラックホール降着流計算”. ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
5. 福島肇, 矢島秀伸, and 梅村雅之. “Circular polarization induced by aligned dust grains at UV wavelength”. JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (オンライン, May 30–June 6, 2021).
6. 福島肇. “Radiation hydrodynamics simulations of young massive star cluster formation”. 新学術領域重力波物理学・天文学：創世記 A03 班夏の会合 (オンライン, July 19, 2021–July 20, 2020).
7. 福島肇. “低金属量環境における大質量星団形成”. 金属欠乏宇宙 2021 (オンライン, Sept. 27–30, 2021).

8. 福島肇. “輻射流体シミュレーションによる大質量星団形成”. 銀河星形成研究会 2021 (Galactic Star Formation 2021) (Online, Dec. 2, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/galsf2021>.
9. 福島肇. “星団形成における輻射フィードバックの金属量依存性”. 低金属量環境下における星・惑星形成 (Online, Dec. 6–8, 2021). URL: <https://tok339.wixsite.com/low-metallicity-2021>.
10. 福島肇, 井上茂樹, and 矢島秀伸. “低金属量銀河円盤シミュレーション”. 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
11. 福島肇 and 矢島秀伸. “星団形成における EUV/FUV 輻射フィードバック”. 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
12. 福島肇 and 矢島秀伸. “星団形成における初期密度分布の影響”. 2021(令和3)年度国立天文台 CfCA ユーザーズミーティング (Online, Jan. 18–19, 2022).
13. 福島肇 and 矢島秀伸. “Cloud-in-cloud simulations of star cluster formation”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
14. 猪口睦子, 細川隆史, 嶺重慎, and 福島肇. “大質量星団形成時の観測的特徴”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
15. 木村和貴, 細川隆史, 杉村和幸, and 福島肇. “初代星形成における大質量原始星近傍での輻射流体計算”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
16. 大滝恒輝 and 森正夫. “ダークマターフィードバック銀河形成条件の解析”. 銀河・銀河間ガス研究会 2021 (オンライン, Aug. 16–20, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/domestic/ja/2021/08/16/galaxy-igm/>.
17. 梅村雅之. “多重 AGN の理論的意義”. 多重 AGN サイエンスワークショップ (オンライン, July 30, 2021).
18. 菊田智史. “多重 AGN 観測レビュー”. 多重 AGN サイエンスワークショップ (オンライン, July 30, 2021).
19. 大須賀健. “BH 降着円盤とジェットと円盤風”. 多重 AGN サイエンスワークショップ (オンライン, July 30, 2021).
20. Alexander Wagner. “Kpc-scale AGN Feedback”. 多重 AGN サイエンスワークショップ (オンライン, July 30, 2021).
21. 矢島秀伸. “原始銀河団領域におけるマルチスケール多重 AGN”. 多重 AGN サイエンスワークショップ (オンライン, July 30, 2021).
22. 曽我健太. “多重 AGN による宇宙再電離に対する影響”. 多重 AGN サイエンスワークショップ (オンライン, July 30, 2021).
23. 大滝恒輝 and 森正夫. “ダークマターサブハローの衝突過程と銀河進化の解析”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
24. 数野優大, 大滝恒輝, and 森正夫. “低質量ダークマターサブハローの成長過程”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
25. 杉原和斗 and 森正夫. “銀河衝突とダークマターサブハロー”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
26. 古谷田和真 and 森正夫. “Athena++ を使った銀河進化計算”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.

27. 大滝恒輝 and 森正夫. "The formation of dark-matter-deficient galaxies through dark matter subhalo". 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
28. 金田優香, 数野優大, 大滝恒輝, and 森正夫. "高分解能宇宙論的 N 体シミュレーションにおけるサブハローの進化". 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
29. 田中駿次 and 森正夫. "銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係". 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
30. 大滝恒輝 and 森正夫. "銀河衝突によるダークマターサブハローの形成 : 金属量依存性について". 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
31. 数野優大, 森正夫, and 大滝恒輝. "低質量ダークマターサブハローの成長過程について". 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
32. 大滝恒輝 and 森正夫. "ダークマターサブハローの力学進化模型". 日本流体力学会年会 (オンライン, Sept. 21–23, 2021).
33. 大滝恒輝 and 森正夫. "銀河衝突とガスの熱力学進化". 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
34. 数野優大, 大滝恒輝, 金田優香, and 森正夫. "ダークマターサブハローの力学進化過程". 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
35. 金田優香, 数野優大, 大滝恒輝, and 森正夫. "ダークマターサブハローの力学進化と近傍銀河・銀河団観測との比較". 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
36. 堀田彩水 and 森正夫. "銀河衝突によるアンドロメダ銀河の力学進化". 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
37. 田中駿次 and 森正夫. "銀河系衛星銀河の潮汐破壊による質量損失と近点距離の関係". 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
38. 萩原大樹, 川島朋尚, and 大須賀健. "Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU". 高エネルギー宇宙物理学研究会 2021 (Online, Nov. 24–26, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/highenergyastrophys2021/>.
39. 萩原大樹, 川島朋尚, and 大須賀健. "Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU". 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
40. 萩原大樹, 川島朋尚, and 大須賀健. "Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
41. 川島朋尚, 浅野勝晃, 大須賀健, and 高橋博之. "多波長・マルチメッセンジャー・ブラックホール天文学 : ブラックホールシャドウから高エネルギーニュートリノまで". 高エネルギー現象で探る宇宙の多様性 I (東京大学宇宙線研/Online, Oct. 18–19, 2021). URL: <https://www.icrr.u-tokyo.ac.jp/heal/conference211018.html/>.
42. 尾形絵梨花, 大須賀健, 矢島秀伸, and 福島肇. "Super-Eddington 天体に対する dusty-gas での Hoyle-Lyttleton 降着". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
43. 武者野拓也, 小川拓未, 大須賀健, 矢島秀伸, and 大向一行. "超臨界ブラックホール降着流におけるライマンアルファ輝線の輻射力の計算". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.

44. 竹田麟太郎, 大須賀健, 高橋労太, and 梅村雅之. “特殊相対性理論の効果を考慮した光子の拡散問題”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
45. 島田悠愛 and 大須賀健. “一般相対論的輻射磁気流体計算で探るブラックホールへの突発的超臨界降着”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
46. 竹林晃大 and 大須賀健. “X線偏向を考慮した輻射輸送計算コードの開発”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
47. 川島朋尚, 浅野勝晃, 大須賀健, and 高橋博之. “一般相対論的磁気流体場における多波長輻射・ニュートリノ輸送計算”. 高エネルギー宇宙物理学研究会 2021 (Online, Nov. 24–26, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/highenergyastrophys2021/>.
48. 高橋幹弥, 大須賀健, 高橋労太, 小川拓未, 梅村雅之, et al. “測地線に沿った空間3次元一般相対論的輻射輸送コードの開発”. 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
49. 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. “一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションで探る超臨界降着円盤”. 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
50. 尾形絵梨花, 大須賀健, 矢島秀伸, and 福島肇. “Dusty-gas 内を浮遊するブラックホールへのガス降着過程；超エディントン円盤の傾きと非軸対称構造”. 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
51. 朝比奈雄太, 高橋博之, and 大須賀健. “GR-RMHD コード INAZUMA によるブラックホール降着円盤シミュレーション：スピニ依存性”. 第34回理論懇シンポジウム (Online, Dec. 22–24, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/rironkon2021/>.
52. 川島朋尚, 秋山和徳, 大須賀健, 紀基樹, 高橋博之, et al. “一般相対論的輻射輸送計算で探るブラックホール降着流・ジェットの観測的特徴：現状と今後の展望”. 超巨大ブラックホール研究会：その実態・影響・起源の全貌解明に向けて (Online, Dec. 27–28, 2021). URL: <https://astrophysics.jp/SMBH>.
53. 大須賀健. “Overview: ブラックホール降着・噴出流の研究目的と計画”. 超巨大ブラックホール研究会：その実態・影響・起源の全貌解明に向けて (Online, Dec. 27–28, 2021). URL: <https://astrophysics.jp/SMBH>.
54. 野村真理子, 大須賀健, C.Done, and 大向一行. “銀河中心核でのアウトフロー：ブラックホール進化への影響”. 超巨大ブラックホール研究会：その実態・影響・起源の全貌解明に向けて (Online, Dec. 27–28, 2021). URL: <https://astrophysics.jp/SMBH>.
55. 川島朋尚, 大須賀健, and 高橋博之. “厳密な時間依存型の多波長・一般相対論的輻射輸送計算で探るブラックホールシャドウおよびスペクトルの時間変動”. 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
56. 五十嵐太一, 松元亮治, 加藤成晃, 高橋博之, 松本洋介, et al. “巨大ブラックホール降着流の輻射磁気流体力シミュレーション：熱不安定性による軟X線放射領域の振動”. 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
57. 芳岡尚悟, 嶺重慎, Ignacio Botella Lasaga, 大須賀健, 川島朋尚, et al. “大局的輻射流体計算による超臨界降着流からのアウトフローの構造解明”. 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).

58. I. B. Lasaga, T. Kitaki, S. Mineshige, K. Ohsuga, and T. Kawashima. "Study on the outflow impact of SMBH seed at high-z through radiation hydro-dynamic (RHD) simulations". 日本天文学会秋季年会(オンライン, Sept. 13–15, 2021).
59. 高橋幹弥, 大須賀健, 高橋労太, 小川拓未, and 梅村雅之. "測地線に沿った時間依存型一般相対論的輻射輸送コードの開発". 日本天文学会秋季年会(オンライン, Sept. 13–15, 2021).
60. 尾形絵梨花, 大須賀健, 矢島秀伸, and 福島肇. "Super-Eddington 天体に対する dusty-gas の Hoyle-Lyttleton 降着: 円盤面の傾きによる非軸対称性について". 日本天文学会秋季年会(オンライン, Sept. 13–15, 2021).
61. 武者野拓也, 小川拓未, 大須賀健, 矢島秀伸, and 大向一行. "超臨界ブラックホール降着流におけるライマンアルファ輝線の輻射力の計算". 日本天文学会秋季年会(オンライン, Sept. 13–15, 2021).
62. 小川拓未, 朝比奈雄太, 大須賀健, and 高橋博之. "Boltzmann 法によるカーブラックホール近傍の輻射輸送". 日本天文学会秋季年会(オンライン, Sept. 13–15, 2021).
63. 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. "磁化中性子星への超臨界降着流によるアウトフロー; 駆動機構とその温度について". 日本天文学会秋季年会(オンライン, Sept. 13–15, 2021).
64. 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太, and 川島朋尚. "磁化中性子星への超臨界降着流によるアウトフロー; 駆動機構とその温度について". 中性子星研究会(オンライン, Aug. 10–12, 2021).
65. 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松本洋介, et al. "活動銀河中心核における軟 X 線放射領域振動の輻射磁気流体数値実験". 日本流体力学会年会(オンライン, Sept. 21–23, 2021).
66. 尾形絵梨花, 大須賀健, 福島肇, and 矢島秀伸. "Dusty-gas 内を浮遊するブラックホール降着円盤への Bondi-Hoyle-Lyttleton 降着過程". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
67. 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. "一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションで探る超臨界降着円盤のブラックホールスピン依存性". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
68. 武者野拓也, 小川拓未, 大須賀健, 矢島秀伸, and 大向一行. "ブラックホール超臨界降着流中の Ly α 輻射力の計算". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
69. 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. "磁化中性子星への超臨界降着流によるアウトフローについて". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
70. 川島朋久, 大須賀健, 高橋博之, and 人見拓也. "ブラックホール降着流・相対論的ジェットの多波長輻射特性と時間変動". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
71. 恒任優, 嶺重真, 川島朋尚, 大須賀健, 秋山和徳, et al. "ブラックホール付近の偏光画像から探る、活動銀河核 M87 におけるジェット-円盤構造". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
72. 芳岡尚悟, 嶺重真, 大須賀健, 川島朋尚, and 北木孝明. "超臨界降着流からの大局的アウトフロー構造と輻射特性". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
73. 五十嵐太一, 高橋博之, 加藤成晃, 大須賀健, 松本洋介, et al. "サブエディントン降着する活動銀河核の輻射磁気流体シミュレーション". ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
74. 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. "一般相対論的輻射磁気流体力学計算を用いたカーブラックホール周りの超臨界降着流の研究". 2021(令和3)年度国立天文台 CfCA ユーザーズミーティング (Online, Jan. 18–19, 2022).
75. 尾形絵梨花, 大須賀健, 福島肇, and 矢島秀伸. "3次元輻射流体力学計算で探るブラックホール降着円盤への Bondi-Hoyle-Lyttleton 過程". 日本天文学会 2022 年春季年会(オンライン, Mar. 2–5, 2022).

76. 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. “一般相対論的輻射磁気流体計算で探る、カーブラックホール周りの超臨界降着円盤”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
77. 芳岡尚悟, 嶺重慎, 大須賀健, 川島朋尚, and 北木孝明. “超臨界降着流からのアウトフローの特性”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
78. 高橋労太, 梅村雅之, 大須賀健, and 朝比奈雄太. “相対論的流体中での因果律を保った光子多重散乱効果”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
79. 五十嵐太一, 松元亮治, 加藤成晃, 高橋博之, 松本洋介, et al. “逆コンプトン散乱による冷却を考慮したセイファート銀河における軟 X 線放射領域の輻射磁気流体シミュレーション”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
80. 荻原大樹, 川島朋尚, and 大須賀健. “Constructing synthetic images of GRMHD models for AGN jets by applying the general relativistic radiative transfer code RAIKOU”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
81. 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之, and 人見拓也. “歳差運動するブラックホール降着流と相対論的ジェットの放射特性”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
82. 恒任優, 嶺重慎, 川島朋尚, 大須賀健, 秋山和徳, et al. “直線偏光・円偏光画像から探る、活動銀河核 M87 のジェット一円盤構造”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
83. 小川拓未, 朝比奈雄太, 大須賀健, 高橋博之, and 川島朋尚. “Boltzmann 輻射輸送による Compton 冷却を考慮した RIAF 円盤の電子温度計算”. 日本天文学会 2022 年春季年会 (オンライン, Mar. 2–5, 2022).
84. 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, and 朝比奈雄太. “一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションで探る超臨界降着円盤のブラックホールスピンドル依存性”. ブラックホール磁気圏研究会 2022 (大阪市立大/オンライン, Mar. 8–10, 2022).
85. 高橋幹弥, 大須賀健, 高橋労太, 小川拓未, 梅村雅之, et al. “測地線に沿った一般相対論的輻射輸送コードの開発と適用”. ブラックホール磁気圏研究会 2022 (大阪市立大/オンライン, Mar. 8–10, 2022).
86. 高橋労太, 梅村雅之, 大須賀健, and 朝比奈雄太. “相対論的流体中での因果律を保った光子多重散乱効果”. ブラックホール磁気圏研究会 2022 (大阪市立大/オンライン, Mar. 8–10, 2022).
87. 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之, 人見拓也, and 浅野勝晃. “巨大ブラックホール降着流・噴出流の一般相対論的輻射および高エネルギートリノ輸送計算”. ブラックホール降着流ミニ研究報告会 (千葉大学/オンライン, Mar. 28, 2022).
88. 五十嵐太一, 松元亮治, 加藤成晃, 高橋博之, 松本洋介, et al. “コンプトン冷却を考慮した活動銀河中心核降着流の輻射磁気流体シミュレーション”. ブラックホール降着流ミニ研究報告会 (千葉大学/オンライン, Mar. 28, 2022).
89. 大村匠, 町田真美, 松本洋介, 大須賀健, and 松元亮治. “CANS+ によるジェット伝播の高空間分解能二温度磁気流体数値シミュレーション”. Japan Geoscience Union Meeting 2021 (オンライン, May 31–June 5, 2021).
90. 井上茂樹, 高木俊暢, 宮崎敦, Erin Mentuch Cooper, 江草英実, et al. “Instability analysis for spiral arms of local galaxies”. 日本天文学会秋季年会 (オンライン, Sept. 13–15, 2021).
91. 高水裕一, 梅村雅之, 矢島秀伸, 安部牧人, and 星詳子. “深層学習によるガン細胞位置と形状の判定手法”. 日本光学会年次学術講演会 2021 (オリンピックセンター, ハイブリッド開催, Oct. 26–29, 2021). URL: <https://opt-j.com/opj2021/>.
92. 阿左美進也 and 梅村雅之. “Ly α 輻射による原始ガス雲中での水素分子形成抑制効果”. 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.

93. 古賀実 and 梅村雅之. "ライマン α 光の円偏光生成とホモキラリティ問題". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
94. 岩本歩夢 and 梅村雅之. "原始惑星系円盤における乱流とダスト成長". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
95. Alexander Wagner, Yuji Wama, Ankush Mandal, Christoph Federrath, and Dipanjan Mukherjee. "Exploring the regulation of star-formation through AGN-jet-driven turbulence". 銀河星形成研究会 2021 (Galactic Star Formation 2021) (Online, Dec. 2, 2021). URL: <https://sites.google.com/view/galsf2021>.
96. Alexander Wagner. "Galaxy-scale AGN Feedback". 超巨大ブラックホール研究会：その実態・影響・起源の全貌解明に向けて (Online, Dec. 27–28, 2021). URL: <https://astrophysics.jp/SMBH>.
97. 新井聰一, 矢島秀伸, and 福島肇. "スターバースト銀河における星形成について". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
98. 秋葉健志 and 矢島秀伸. "21cm signal simulation during the EoR". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
99. 佐藤大樹 and 矢島秀伸. "光音響波伝搬シミュレーションと機械学習によるヒト頭部の血管分布解析". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.
100. 矢島秀伸, 安部牧人, 梅村雅之, 高水裕一, and 星詳子. "生体光イメージングに向けた大規模輻射輸送数値計算コードの開発". 日本光学会年次学術講演会 2021 (オンラインピックセンター, ハイブリッド開催, Oct. 26–29, 2021). URL: <https://opt-j.com/opj2021/>.
101. 矢島秀伸. "高精度輻射輸送計算と機械学習との融合による近赤外光トモグラフィ-現状とこれから". 計算メディカルサイエンスワークショップ (オンライン, Sept. 6, 2021).
102. 吉川耕司. "宇宙大規模構造形成における宇宙論的ニュートリノの数値シミュレーション". 筑波大学 宇宙史研究センター 成果報告会 (online, Nov. 26–26, 2021).
103. 内田 雄揮 and 吉川耕司. "銀河団中の非熱的電子によるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果". 天体形成研究会 2021 (Online, Oct. 22–23, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/ccs/ja/2021/10/22/tentaikeisei/>.

(4) 著書・解説記事等

A) 著書

1. 大須賀健 (監修). 世界一やさしいブラックホールの話. 宝島社, Apr. 2021.
2. 大須賀 健. ブラックホール 暗黒天体をのぞいてみたら. 角川ソフィア文庫, 2022.
3. 高水裕一. 宇宙人と出会う前に読む本. 講談社ブルーバックス, July 2021.
4. 高水裕一. 物理学者、SF映画にハマる. 光文社新書, Oct. 2021.

B) 記事

1. 森正夫. "天体時代の終わり". Newton ライト 2.0 宇宙の終わり. ニュートンプレス, June 2021.

2. 森正夫. “銀河の衝突と進化”. 別冊 銀河のすべて 改訂第3版. ニュートンエクスプレス, Nov. 2021. Chap. 4.

7. 異分野間連携・产学官連携・国際連携・国際活動等

【異分野間連携（センター内外）】

- 高性能計算システム研究部門と輻射輸送シミュレーションコードの開発において連携
- 生命科学研究部門生命機能情報分野との宇宙生命連携（CAB）
- 計算メディカルサイエンス事業部における連携

8. シンポジウム・研究会・スクール等の開催実績

1. Ken Ohsuga. ブラックホールジェット・降着円盤・円盤風研究会 2022 (Online, Jan. 24–25, 2022).
2. Alexander Wagner. 13th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (オンライン, Oct. 8, 2021). URL: <https://www.ccs.tsukuba.ac.jp/sympo20211008en/>.
3. Hidenobu Yajima. 国際研究会開催：「Galaxy Evolution Workshop 2021」(Online, Feb. 7–10, 2022).
4. 梅村雅之, 矢島秀伸, and Wagner Alexander. 銀河・銀河間ガス研究会 Galaxy-IGM workshop 2021 (Online, Aug. 16–20, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/domestic/ja/2021/08/16/galaxy-igm/>.
5. 梅村雅之 and 菊田智史. 多重 AGN サイエンスワークショップ (Online, July 30, 2021). URL: <https://www2.ccs.tsukuba.ac.jp/Astro/conferences/domestic/ja/2021/07/30/magn/>.
6. 梅村雅之. 計算メディカルサイエンス ワークショップ 2021 (Online, Sept. 7, 2021).
7. Masayuki Ummeura, Ken Ohsuga, and Hidenobu Yajima. 超巨大ブラックホール研究会：その実態・影響・起源の全貌解明に向けて (Online, Dec. 27–28, 2021). URL: <https://astrophysics.jp/SMBH>.
8. 宇宙物理理論研究室 M1 の学生. 天体形成研究会 2021 (オンライン, Oct. 22–23, 2021).

9. 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

学内

若手研究者育成支援室（世界で活躍できる研究者戦略育成事業） 室長

計算科学研究センター 計算メディカルサイエンス事業部長

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

学外

- 日本天文学会会長
- 日本天文学会欧文研究報告編集顧問
- 一般社団法人リサーチ・アドミニストレーション協議会 URA 質保証事業 WG 委員

● 大須賀健

学内

- 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 共同利用委員会委員
- 物理学域 運営委員会委員
- 物理学域 カリキュラム委員会委員
- プラズマ研究センター 運営委員会委員
- 総合学域群 第二類担任

学外

- 日本天文学会代議員
- 計算基礎科学連携拠点（JICFuS） 副拠点長
- 「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」 副代表

● 森正夫

- 人間総合科学学院教育学 学位プログラム兼任
- 理工学群長候補者及び副学群長候補者意向調査管理委員 会委員長

● 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

10. 社会貢献・国際貢献

1. 大須賀健. 愛媛大学宇宙進化研究センター講演会「ブラックホールの謎に迫る」. Dec. 11, 2021.
2. 大須賀健. ジャポニカ学習帳宇宙編, 漢字ドリル, コラム「もしブラックホールに吸い込まれたら」の監修.
3. 大須賀健. コメント掲載, 読売新聞, ブラックホールの面積増大定理について. July 13, 2021.
4. 大須賀健. テレビ出演（2019/12/13放送分の再使用）, NHK BS4K "コズミックフロントオメガ" 第4回ブラックホール. Mar. 25, 2022.
5. Wagner Alexander. *Astronomers for Planet Earth* アジア代表.
6. 高水裕一. 朝日カルチャー出版記念講演「宇宙人と出会う前に読む本」, 宇宙論を解説. Dec. 18, 2021.
7. 高水裕一. ラジオ出演 77.8 ZIP-FM 「CULTURE RADIO via TOKYO」, 著書を紹介. Dec. 18, 2021.
8. 高水裕一. 読売新聞, 特集記事「宙を仰ぐ人々ー宇宙」にてコメント掲載, 宇宙とSF映画についてコメント, 著書の紹介. Jan. 13, 2022.
9. 高水裕一. ネット番組出演, 「シネバカちゃん」, <https://azzurri-fm.com/>, 宇宙とSF映画についてコメント, 著書の紹介. Jan. 20, 2022.
10. 高水裕一. テレビ出演, テレビ東京 "探求の階段", 著書, 光バイオ研究の紹介. May 13, 2021.
11. 高水裕一. 早稲田大学高等学院講演会, オンライン. May 18, 2021.
12. 高水裕一. ラジオ出演, TBS ラジオ "あした話したくなるラジオ", 著書を紹介. Aug. 6, 2021.

13. 高水裕一. 共同通信取材, 神奈川新聞, 山陰中央新聞, 茨城新聞ほか掲載, 著書紹介と光バイオの紹介. Aug. 23, 2021.
14. 高水裕一. ラジオ出演, 文化放送 “シャングリラ”, 著書紹介と 光バイオの紹介. Sept. 12, 2021.
15. 高水裕一. 朝日カルチャーセンター講演「時間は逆戻りするのか3 宇宙時間と逆行する！ 生命の時間」. Mar. 27, 2021.
16. Wagner Alexander. ぐんま国際アカデミーの職業インタビュー. Jan. 13, 2022.