

II. 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
助教	古家 健次
研究員	高水 裕一 (CCS)
研究員	田中 賢 (HPCI 重点)
研究員	安部 牧人 (科研費/矢島)
研究員	五十嵐 朱夏 (数理解析学研究所)
学生	大学院生 13 名 学類生 7 名

2. 概要

本年度、当グループは、ライン駆動型円盤風による巨大ブラックホール成長の抑制、ボンディ半径領域の輻射流体計算によるブラックホールの急速成長メカニズム、超高光度 X 線パルサーの理論モデルの構築、冷たいダークマターハローにおけるカस्प-コア問題、IC10 とダークサテライトの衝突シミュレーション、遷音速アウトフローモデルにおける銀河風の遷音速および常亜音速流の存在可能性、初代銀河のスターバーストと輻射特性の関係、21-cm 線マップによる宇宙再電離研究、初代ブラックホール成長における輻射と角運動量の影響、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、活動銀河核フィードバック、原始惑星系円盤の化学構造にダスト成長が与える影響、星形成領域における水素分子の核スピン転換、一般相対論を拡張した重力理論におけるスカラーテンソルの摂動論の研究、初代星形成における再結合放射の影響、初代星の影響を考慮した高解像度初代銀河形成シミュレーションの研究を行った。また、宇宙生命計算科学連携として、ガスのダスト表面でのラジカル反応、原始太陽系におけるダスト成長過程の研究を行った。計算コード開発としては、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の開発、SIMD 命令を用いた SPH 法的高速化、重力多体高速演算ライブラリ Phantom-GRAPE の AVX-512 命令への対応を行った。

3. 研究成果

【1】 ライン駆動型円盤風による巨大ブラックホール成長の抑制

巨大ブラックホールがその正体と考えられている活動銀河中心核では、光速の 10%程度に達する強力なアウトフローが観測されている。しかし、その起源はよくわかっていない。これまでの研究により、ブラックホール周囲の降着円盤がエディントン光度の 10%から数十%で輝く場合、ラインフォース（重元素の束縛-束縛遷移吸収による輻射力）が部分的に重力を凌駕するようになり、円盤表面からガスが噴出することがわかっている（Proga et al. 2000, Nomura & Ohsuga 2017）。このライン駆動型円盤風モデルは、観測結果とよく説明できるが、円盤の光度がエディントン光度に近い場合が適用範囲外であった。大量のガスが噴出することによる降着円盤の変化を考慮していないからである。本研究では、輻射流体シミュレーションを実施し、円盤風の噴出による降着円盤の質量降着率の変化を考慮した新たな円盤風モデルを構築した。その結果、降着円盤に供給されたガスのうち、最大で 60-70%が円盤風として吹き出すことがわかった（Nomura et al. submitted）。これは、エディントン光度付近で、巨大ブラックホールの成長速度が抑制されることを意味する。

【2】 ボンディ半径領域の輻射流体計算によるブラックホールの急速成長メカニズム

初期宇宙に既に巨大ブラックホールが存在するという事実は、ブラックホールが急速成長したことを意味する。急速成長を可能にするメカニズムの一つが超エディントン降着であるが、ボンディ半径領域でそれが可能か否か、まだ決着がついていない。ブラックホール近傍の降着ガスが発する光の輻射スペクトルがベキ型であると仮定した輻射流体シミュレーションでは、ブラックホール質量が大きく、ガス密度が高い場合に超エディントン降着が実現されることが示された（Takeo et al. 2018）が、超エディントン降着が実現されると、ブラックホール近傍ではスリム円盤が形成され、ベキ型ではなく熱的放射が生じると考えられる。そこで本研究では、円盤からの熱的放射を考慮した輻射流体シミュレーションを実施した。その結果、ベキ型を仮定して先行研究よりも、広いブラックホール質量で超エディントン降着が可能であることが判明した（Takeo et al. submitted）。ブラックホール質量が小さいと円盤の温度が高くなるため、ベキ型を仮定した場合よりも電離光子の数が減ることがその理由である。

【3】 超高光度 X 線パルサーの理論モデルの構築

超高光度 X 線源は、太陽光度のおよそ 100 万倍を超える X 線光度を持つ天体で、近傍銀河で数百個発見されているが、そのエネルギー源はよくわかっていない。そのような状況の中、5つの超高光度 X 線源で X 線パルスが検出され、その中心天体は中性子星と判明した。これらの超高光度 X 線源を超高光度 X 線パルサーと呼ぶが、強力な X 線の放射機構および X 線

パルスの生成機構は未解明である。本研究では、大量のガスが中性子星の磁極に降着するという超臨界降着柱モデルを構築した。輻射流体シミュレーションにより、降着ガスの重力エネルギーが輻射エネルギーに変換され、それが主に降着柱の側面から解放されるという描像が得られた (Kawashima et al. 2016, Kawashima & Ohsuga submitted)。これは、従来の電波パルサーとは全くことなる構造である。また、回転軸と磁軸が傾いているという状況を想定し、一般相対論的輻射輸送計算で光度曲線を計算した。その結果、観測されている X 線パルスと大きく矛盾しないことがわかった。

【4】 Cold dark matter halo における cusp-core 問題

現在の標準的な構造形成理論である cold dark matter(CDM)モデルは宇宙の大規模構造の統計的性質を説明することに成功した反面、1Mpc 以下の小さなスケールの構造においていくつかの問題が指摘されている。dark matter halo(DMH)の中心質量密度は CDM 理論では、発散する cusp 構造を予言するが、観測的には中心質量密度が一定となる core 構造が多数発見されている。本研究ではこの問題を、DMH とバリオンの力学的相互作用に起因した DMH の中心密度分布の進化過程に関わる問題として捉えて解析を行っている。活発な星形成活動が発生する以前の原始銀河の DMH は cusp 構造を持っているが、銀河形成期に発生する周期的な超新星爆発フィードバックによって core 構造へと遷移する、cusp-core 遷移過程の SCF 法も用いたシミュレーション解析を行った。本年度は特に、ガスの振動がランダウ共鳴を介してダークマターハローの中心部分を加熱する加熱効率について詳細な解析をおこなった。その結果、振動の高波長モードが高いエネルギー輸送効率を示すことを見出し、カuspからコアへの遷移を引き起こす素過程の詳細を解析した。

【5】 IC10 と dark satellite の衝突シミュレーション

我々の住む天の川銀河や近傍のアンドロメダ銀河 (M31) の周囲には、数十個程度の衛星銀河が観測されているが、 Λ CDM モデルに基づく N 体シミュレーションによると、M31 サイズの Dark Matter Halo には、観測されているよりも遥かに多くの sub halo が付随していると予想されている (Moore et al., 1999)。この理論と観測との不一致は Missing satellite problem と呼ばれ、銀河形成の謎の一つとされている。この Missing satellite problem に対して、総質量のほとんどが dark matter で構成された非常に暗い銀河 (Dark Satellite ; DS) が多数存在している可能性が理論的に指摘されている。本研究では IC10 で観測された HI gas stream に着目し、DS の存在可能性について調査した。M31 の衛星銀河である IC10 に counter part が観測されていない HI gas stream が観測されており、DS との相互作用の可能性が議論されている(Nidever et al., 2013)。我々は IC10 モデルとのダークマターとガスをもつ DS の衝突実験を N 体/SPH シミュレーションを用いて行った。IC10 モデルには proper motion の観測 (Brunthaler et al., 2007)

に基づく軌道運動を考え、DS の質量やスケール半径、軌道要素を変えながら銀河衝突シミュレーションを実行し、観測を再現する stream を形成する DS の条件を見出すことに成功した。

【6】 Transonic outflow モデルにおける銀河風の遷音速および常亜音速流の存在可能性

銀河風はエネルギーやガスの輸送、銀河内での重元素循環や銀河間空間の重元素汚染といった、銀河の形成進化や銀河間空間の進化に対して重要な役割を担っている。我々は、現実的なダークマターハロー (DMH) / 超大質量ブラックホール (SMBH) 重力場の下での銀河風の遷音速加速過程の研究を行ってきた。その加速過程は超新星や恒星風などによって供給される熱エネルギーと銀河中心の SMBH や DMH による重力ポテンシャルの大小関係を表す無次元パラメーターによって決定され、遷音速流が最大エントロピーもしくは最小エネルギーの解であることを示した。また我々は、銀河風の解析解の線形安定性について調べ、DMH の密度分布に依らず、常亜音速解は物理的には不安定であるが摂動の成長時間が宇宙年齢よりも長く実質的には安定であるという結果を得た。本研究では、常亜音速流の吹出す速度について、赤方偏移や DMH の密度分布、銀河の質量に対する依存性について解析を行った。その結果、赤方偏移が小さくなるにつれて常亜音速流として銀河風が吹出すことが難しくなり、低質量の銀河においてその条件はより厳しくなっていくことを示した。

【7】 初代銀河のスターバーストと輻射特性の関係

近年の観測により遠方銀河が多数観測されている。それらは紫外線で明るいものや、赤外線で見えるもの、水素や炭素、酸素の輝線が強い天体などさまざまな個性を持つ。我々は宇宙論的流体計算と輻射輸送計算を組み合わせる事で、初代銀河の物理状態と光学特性の関係を調べた。結果として、多重超新星爆発の影響により、銀河内のガスは銀河外に排出され、星形成が間欠的に起きることが分かった。この時、スターバースト開始直後は、星形成領域内のダストとガスに星の紫外線は吸収され銀河は赤外線で見えるようになる。その後、ガスのアウトフローとともに紫外線が外に漏れ出す事で銀河は紫外線で明るくなることを示した。これらの結果は現在 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society に投稿中である (Arata, Yajima, Nagamine, 2019)。また、これらの計算に加え、現在アルマ望遠鏡の重要な観測波長である炭素と酸素の輝線放射を計算する部分もコードに加え、輝線を含む多波長スペクトルの計算コードを新たに完成させた。これを使った計算により、初代銀河は、スターバースト初期フェイズでは [OIII] 輝線を強く放射する事などが分かった。これら輝線を含む光学特性の研究結果もまとめつつあり、近日中に論文として投稿予定である。

【8】 21-cm 線マップによる宇宙再電離研究

遠方銀河間ガスの水素が放射する超微細構造線 (21-cm 線) は、宇宙の大域的電離構造、すなわち宇宙再電離過程を探る手段として有力視されている。この遠方宇宙の 21-cm 線を観測するために、現在 SKA 計画など大規模な電波観測計画が国際連携のもと進められている。我々は、輻射流体計算によって初代星周辺に形成される 21-cm 線放射分布をモデル化した。結果として、初代星形成直後は電離波面がミニハロー内に捕捉されているため、周辺ガスは低温のままで 21-cm 線シグナルは宇宙背景放射に対して吸収になることを示した。その後、電離波面がハローの外に到達すると電離バブルは大きく広がり、周辺 21-cm シグナルは宇宙背景放射に対して優位に大きくなることが分かった (Tanaka et al. 2018)。

これらの研究に加え、銀河の大域的分布と 21-cm シグナルの分布の関係についても調べた。銀河と 21-cm シグナルは近距離では反相関の関係があることが期待されている。大規模スケールの N 体計算と、輻射流体計算による銀河のモデル化を組み合わせる事で、銀河と 21-cm の相互相関関数を見積もった。結果として、SKA とすばる PFS の将来観測を組み合わせる事で、1 メガパーセク程度以上の電離バブル分布を反映したパワースペクトルが得られる事を示した(Kubota et al. 2018)。

【9】 初代ブラックホール成長における輻射と角運動量の影響

初期宇宙の巨大ブラックホールがどのように形成されたのかは、理論的にも観測的にもよく分かっていない。我々は 2 次元輻射流体計算により、角運動量を持つガス雲の中にブラックホールが存在する場合、ブラックホールの質量成長はどのように進むのかを調べた。

結果として、角運動量が小さい場合においては、ブラックホール降着円盤からの輻射の影の部分からガスは効率良くブラックホールへ輸送され、エディントン限界を超える降着率も実現できることが分かった。一方、輻射フィードバックが等方に近い場合、ガス降着率はボンディ降着率の 1%程度まで抑制されることが分かった。これに加え、非等方な輻射フィードバックの場合でも、ガス雲の角運動量が大きい場合は、半径の大きいガス円盤が形成される。この場合、アルファ粘性によってゆっくりとガス円盤の角運動量輸送が起こり、ブラックホールへのガス降着率はボンディ降着率の 1%程度まで抑制される事が分かった。したがって我々は、角運動量や輻射フィードバックにより、初代ブラックホールの質量成長は効率良く進まないことを示した (Sugimura, Hosokawa, Yajima, Inayoshi, Omukai 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society)。

【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。H30 年度は、複数のニュートリノ質量について

の宇宙大規模構造の数値シミュレーションを様々な大きさのシミュレーション領域について行い、さらに数多くの統計的サンプルについて数値シミュレーションを行うことで、幅広い空間スケールについてニュートリノの力学的影響を精度よく詳細に調べた。具体的にはダークマターの密度揺らぎのパワースペクトル、ダークマターハローの質量関数を調べ、従来の N 体シミュレーションを用いた数値シミュレーションや解析的な研究と統合的な結果を確認した。また、理論的に予言されていた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の存在をダークマターとニュートリノの相互相関関数の解析により明らかにし、ニュートリノ航跡の大きさがニュートリノ質量に依存することを発見した。

更に、ダークマターの重力計算に関して昨年度まではニュートリノ成分とのカップリングのために Particle-Mesh (PM) 法と呼ばれる空間解像度があまり良くない手法を用いていたが、ブラソフ方程式のメッシュ幅と重力計算のメッシュ幅を適切に調整することでダークマターの重力計算を空間解像度の良い TreePM 法を用いて計算できるように改良することに成功した。

【11】 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 coevolution 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) conducted simulations of jets interacting with massive disc galaxies and inducing turbulence and star-formation within. A strong dependence of the interaction on the inclination of the disc was discovered. (Mukherjee, Bicknell, Wagner, et al 2018); 2) performed high-resolution wind-cloud interaction simulations, following the fragmentation, compression and destruction of a turbulent cloud 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 (Banda-Barragán, including Wagner, 2019); 3) investigated how the jet in 4C 31.04 is shocking and exciting molecular and ionized gas in the circumnuclear region of the galaxy using adaptive optics-assisted H- and K-band integral field Gemini/NIFS observation. A picture emerges in which the jet is directly dispersing the

ionized gas in the inner few 100 pc while the energy bubble is shock exciting molecular hydrogen on an approximately kpc scale (Zovaro et al 2019).

【12】 原始惑星系円盤の化学構造にダスト成長が与える影響

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。そこで、ダスト成長が円盤内の揮発性物質分布に与える影響を数値計算により調べた。ダスト成長モデルと化学反応モデルをカップルした数値計算コードを開発し、計算を実行した。その結果、成長した氷ダストの中心星方向への落下と氷マンツルの昇華により、水 (H_2O) や一酸化炭素 (CO) はそれぞれの昇華半径 (=スノーライン) より内側において気相に溜まることが確認された。この現象はすべての分子種について起こるわけではなく、一部の分子種は氷ダストの落下の時間スケールよりも短い時間スケールで効率的に気相反応により破壊され、リング状に分布することが分かった。また、氷ダストの中心星方向への落下により、原始惑星系円盤の元素組成の非一様化が起こることが分かった。

【13】 星形成領域における水素分子の核スピン転換

星形成領域の主成分は水素分子である。水素分子には2つの原子核スピン状態（オルソとパラ）が存在する。オルソとパラの割合（オルソ/パラ比）は、星形成領域における分子の励起や化学反応速度（例、重水素濃縮）に多大な影響を与えるため、オルソ/パラ比の理解は重要である。これまで星形成領域における水素分子の核スピン転換は、気相でのプロトン交換反応が主要な機構と考えられてきた。一方近年の室内実験により、氷ダスト表面上で効率的にスピン転換が起こることが明らかになってきた。星形成領域において気相でのプロトン交換反応、氷ダスト表面上でのスピン転換のどちらが主要なスピン転換機構かを明らかにする目的で、モデル計算を行った。その結果、ダスト温度が 20 K 以下であれば氷ダスト表面でのスピン転換が支配的であることが分かった。低温な星形成前の分子雲コアでは、これまで考えられていたよりも最大で数倍程度短い時間スケールでスピン転換が起こっていると考えられる。

【14】 一般相対論を拡張した重力理論におけるスカラーテンソルの摂動論の研究

宇宙は現在まで、二度の加速膨張期をへており、それぞれダークエネルギーとインフラトンという正体解明のエネルギーに支配されていた時期がある。これらのモデルが示す観測的特徴を明確に区別するには、スカラーテンソルの一般的な揺らぎの発展方程式を扱う必要が

ある。例えば宇宙背景放射や背景重力波の将来観測は、それぞれ原始密度揺らぎというスカラー揺らぎ、原始重力波のテンソル揺らぎが対応している。宇宙の地平線を超える超巨視的スケールにおける勾配展開を用いて、これらが結合する非線形領域まで解析することができる画期的手法を確立した。

【15】 初代星形成における再結合放射の影響

本研究では、GPUを用いて高速化した3次元輻射流体力学シミュレーションコードARGOTを用いて、宇宙初期の第一世代星の形成過程について、これまでの研究では適切に取り扱われてこなかった電離領域からの水素の再結合放射がどのように影響するかに着目した研究を行った。一般に第一世代星形成領域に対して近傍の星などの他の放射源からの電離光子は、光加熱によって星形成を抑制する一方で光電離による自由電子の供給を通して水素分子を形成することで星形成を促進するという両面があるが、再結合放射は光加熱には寄与せず光電離とそれに伴う水素分子形成のみに寄与するため、第一世代星形成に重要な働きをすると考えられる。そこで、本研究では近傍の星が第一世代星形成を促進・阻害する条件をARGOTコードを用いて計算し、その結果、再結合放射を考慮した場合は電離波面付近の中性ガスが緩やかに電離されることにより水素分子形成とそれによる水素分子解離光子の自己遮蔽が促進され、再結合放射を考慮しない場合に比べ第一世代星の形成が促進される傾向があることがわかった。

【16】 初代星の影響を考慮した高解像度初代銀河形成シミュレーション

初代銀河は、現在の銀河の最も基本的なビルディングブロックであり、また初代銀河のような低質量銀河は宇宙再電離に重要な役割を果たしたと考えられている。そのため、初代銀河は次世代観測計画のターゲットとなっており、理論天文学においてもその形成過程の解明は重要な研究課題の一つである。初代銀河は、宇宙で最初の天体である初代星の形成、および進化を経た多数のminihaloが集積して形成される。そのため、初代銀河形成シミュレーションでは、minihaloにおける初代星の形成条件や、個々の初代星の輻射や超新星爆発といったフィードバックの効果を分解する高解像度の計算が必要となる。本研究では、ガスの質量分解能 $\sim 10M_{\odot}$ を達成し、単体の初代星を分解した宇宙論的流体力学計算によって、初代星の形成・進化から、それらが合体して初代銀河へと進化する一連の過程を追った。シミュレーションの結果、多数の初代星超新星爆発によって銀河間ガスへ放出された重元素は、やがて合体成長過程で初代銀河のホストハローに再び取り込まれることが示された。初代星の初期質量関数 (initial mass function, IMF) として、core-collapse supernova (CCSN, $8M_{\odot} < M_{\text{popIII}} < 40M_{\odot}$) が優勢となる Salpeter-like IMF を仮定したところ、初代銀河の星形成のモードは、赤方偏移 $z \sim 12$ を境に種族 III から種族 II へと遷移することがわかった。一方、top-heavy IMF

では pair-instability SN (PISN, $140M_{\odot} < M_{\text{popIII}} < 260M_{\odot}$) が優勢となる。PISN は CCSN に対して放出されるエネルギーが 100 倍程度大きく、激しい爆発を多数起こした結果としてガス欠の初代銀河が形成された。この場合は銀河の星形成率が低く、 $z=9$ においても種族 II の星が形成されないことがわかった。

【17】 ガスのダスト表面でのラジカル反応（宇宙生命計算科学連携）

星間空間における複雑有機分子生成において重要な星間ダスト表面におけるラジカル反応のメカニズムの詳細を明らかにするため、第一原理分子動力学計算を行った。ダスト表面モデルとしてグラフェン表面を用い、グラフェン表面に化学吸着している CHO と遊離 H の反応 (Eley-Rideal (ER) 機構) を、Car-Parrinello molecular dynamics simulation (CPMD) を用いて解析した。CHO の化学吸着の状態を 2 通り (C または H 原子においてグラフェン表面に吸着, 図 1) 検証し、反応生成物の種類や生成後の移動の様子を解析した。CHO が H 原子でグラフェン表面に吸着している場合、多くのトラジェクトリーにおいて、遊離 H は CHO の C 原子と結合して CH_2O を生成したが、生成した CH_2O は、CHO がいた場所の近くにとどまっていた (図 1(b))。一方、CHO が C 原子でグラフェン表面に結合している場合、主に $\text{CO} + \text{H}_2$ が生成し、生成した CO は垂直方向に (表面から解離する方向に) 移動していく一方、生成した H_2 は表面に水平方向に移動していくものが多いという結果が得られた (図 1(a))。

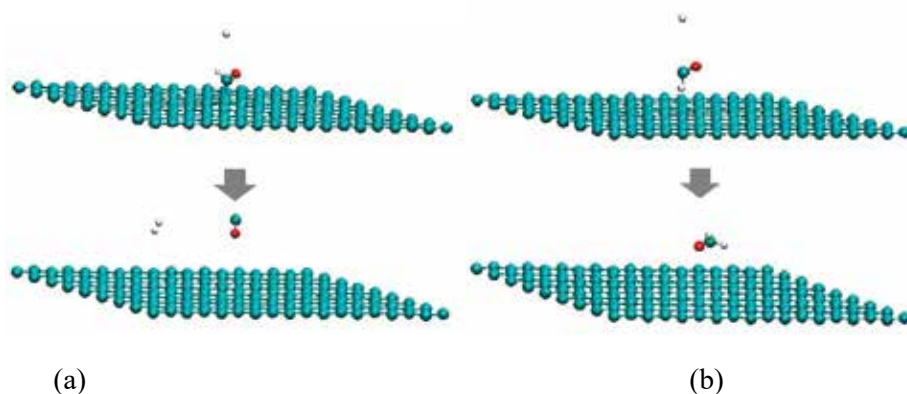


図 1 (a) グラフェン表面に C 原子で吸着している CHO と遊離 H の反応により生成した $\text{CO} + \text{H}_2$ 。
(b) グラフェン表面に H 原子で吸着している CHO と遊離 H の反応により生成した CH_2O 。

【18】 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）

原始惑星系円盤乱流中の微惑星形成過程を明らかにするため、「原始惑星系円盤乱流中のダストの衝突付着成長シミュレーションコードの開発」を行い、以下の成果を得た。

・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

圧縮性乱流中のダストの平均衝突速度や衝突付着率等の統計を非圧縮性乱流における結果と比較し、圧縮性が弱い場合、基本的には非圧縮の場合と同等な結果が得られることを定量

的に明らかにした (図 2 参照)。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。結果として、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。また、乱流場の圧縮性が強くなると弱い衝撃波が現れ、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。

・圧縮性乱流場シミュレーションコードの高効率化

圧縮性ナビエ・ストークス方程式中の外力を数値的に制御することにより、圧縮性乱流場における圧縮成分と非圧縮成分の割合をある程度任意に設定できることを確認した。また、これにより圧縮性の強さの異なる多様な条件下での数値実験が可能となった。また、その外力の制御の方法を高効率化し、結果として、圧縮性乱流場のシミュレーションコードの高効率化に成功した。

・シミュレーション結果の解析手法の開発

開発したコードによる乱流中のダストの衝突付着成長シミュレーションでは、乱流による粒子のクラスタリングが乱流中のダストの衝突付着成長を促進することを示す結果を得た。乱流クラスタリングによる粒子の衝突付着成長促進の効果の原理を明らかにするため、乱流場のストレインテンソルの固有ベクトルを活用した解析手法 (Elsinga & Marusic, JFM 2010) を応用し、流れ構造と粒子分布の関係を定量的に調べることを可能にする解析手法を開発した。その結果、乱流中の高渦度領域は慣性のある粒子の低密度領域を生成し、慣性の大きさに応じた特定の非等方的な密度分布を有することが分かった (Ishihara & Sakurai, JPSJ 2018)。また、高渦度領域の周りで平均化して得られた乱流場中の慣性粒子の振る舞いを調べた結果、慣性粒子は遠心力で高渦度の中心から吐き出されるが背景となるストレイン場によって中心からある程度離れた箇所に留まる傾向があること、また、そこでは慣性粒子同士が低速に接触しうることが分かった。

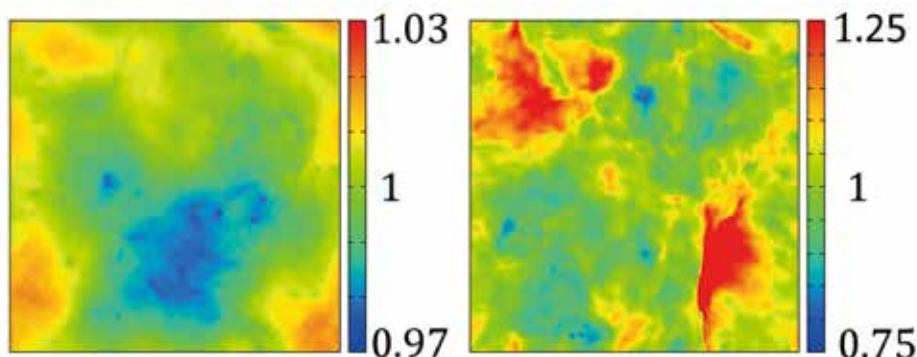


図 2 圧縮性乱流 ($Re=900$) のある断面上の密度分布; (左) マッハ数 $Ma=0.1$ (右) $Ma=0.3$ 。比較に用いた非圧縮乱流($Re=900$)では密度は一様($=1$)である。このように乱流場そのものは

目に見える違いを有する場合でも、乱流中の粒子衝突に関する統計量には目立った違いがないことが定量的に示された。

【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の開発

ブラックホールや中性子星の周囲でおこる高エネルギー現象を調べるには、一般相対性理論、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、輻射輸送の計算量を抑えるために M1-closure 法を用いていた。これはある種の近似法であり、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ある。本研究では、輻射輸送方程式を直接解くことで、輻射場の非等方性をより厳密に考慮できる新たな GR-RMHD コードを開発した。光の交差問題、散乱問題、相対論的輻射衝撃波問題など、いくつかのテスト計算に成功した。

【20】 SIMD 命令を用いた SPH 法の高速化

近年のプロセッサではプロセッサ内部で同一の命令を複数のデータに対して並列に実行することで演算性能を向上させる SIMD (Single Instruction Multi Data) 命令が実装されていて、この SIMD 命令を効率的に利用することで数値シミュレーションを高速化することが可能である。我々は宇宙物理学における数値流体シミュレーションで用いられる Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法を SIMD 命令によって 5~8 倍高速化することに成功した。

【21】 AVX-512 命令に対応した重力多体高速演算ライブラリ Phantom-GRAPE

宇宙物理学の数値シミュレーションでよく使われる N 体シミュレーションにおいて、粒子間の重力相互作用を SIMD 命令を用いて高速に演算する数値演算ライブラリ、Phantom-GRAPE を Intel 社の最新の SIMD 命令である AVX-512 命令に対応させることによって、最新の Intel x86 アーキテクチャのプロセッサにおいて従来の AVX 命令を用いた場合と比較して約 2 倍の演算性能を達成した。

4. 教育

【学位論文】

<博士論文>

1. 加藤一輝

Dynamics of the cusp-to-core transformation in less massive galaxies and formation of the ultra-diffuse galaxies

<修士論文>

1. 阿左美 進也
輻射拡散方程式に基づく初代天体形成へのライマンアルファ放射の効果の解明
2. 田辺 直人
PopIII天体による銀河間重元素の検出可能性
3. 永野裕太
銀河風における遷音速および常亜音速流の存在可能性
4. 宮川銀次郎
IC10に付随する HI gas stream の形成シミュレーションから探る dark satellite の存在可能性

<学士論文>

1. 倉西 嶺人
相対論的変動エディントン因子の輻射輸送計算
2. 茂木 孝人
ダークマターの超巨大ブラックホールへの降着
3. 大滝恒輝
銀河形成シミュレーションに向けた SPH 法の実装
4. 井上壮大
中性子星への超臨界降着柱モデルによる超高光度 X 線源の X 線パルスの計算
5. 萩野圭那子
円盤風の噴出による降着円盤の構造の変化
6. 和間雄司
AGN ジェットによる乱流とガス円盤でのフィードバックの解析

【集中講義】

- 森正夫
新潟大学大学院自然科学研究科非常勤講師
集中講義「宇宙物理学」，2018年11月20日～21日，新潟大学

5. 受賞、外部資金、知的財産権等

外部資金

(名称, 氏名, 代表・分担の別, 採択年度, 金額, 課題名)

<代表者>

- 基盤研究 (B) (一般) H27 年度～H30 年度: 梅村雅之
「一般相対論的輻射流体によるブラックホール超臨界降着流と超大質量星の研究」

(H30 年度 120 万円／全体 540 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）

(H30 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」
(H30 度 110 万円／全体 290 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」

(H30 度 90 万円／全体 180 万円)

- 基盤研究（C）（一般）H26 年度～H30 年度：森正夫
「輻射流体シミュレーションによる銀河系統樹の構築」
(H30 度 80 万円／全体 520 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」

(H30 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」

(H30 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」

(H30 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」

(H30 年度 104 万円/全体 510 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」

(H30 年度 60 万円/全体 240 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」
(H30 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：高橋芳太)
「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」
(H30 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」
(H30 年度分担金 10 万円 / 分担金全体 195 万円)
- 基盤研究 (C) (一般) H28 年度～H30 年度：大須賀健 (代表者：海老沢研)
「X 線観測と理論の比較によるコンパクト天体への質量降着とアフトフロー現象の研究」
(H30 年度分担金 15 万円 / 分担金全体 65 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」
(H30 年度分担金 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」
(H30 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」
(H30 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)
(H30 年度 819 万円/全体 3428 万円)
- 挑戦的萌芽研究 H28 年度～H30 年度：古家健次(代表者：相川祐理)
「計算科学によるアストロバイオロジーへの理論的挑戦」
(H30 年度分担金 50 万円/分担金全体 100 万円)

6. 研究業績

(1) 研究論文

A) 査読付き論文

1. V. Taquet et al. (including K. Furuya), 2018, Linking interstellar and cometary O₂: a deep search for ¹⁶O¹⁸O in the solar-type protostar IRAS 16293–2422, *Astronomy & Astrophysics*, 618, A11
2. M. Nomura et al. (including K. Ohsuga), 2018, Magnetohydrodynamic Simulations of a Plunging Black Hole into a Molecular Cloud, *The Astrophysical Journal*, 859, 29
3. T. Tanaka, K. Hasegawa, H. Yajima, M. I. N. Kobayashi, N. Sugiyama, 2018, Stellar Mass Dependence of the 21-cm Signal Around the First Stars and Its Impact on the Global Signal, accepted in *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*
4. T. Kitaki, S. Mineshige, K. Ohsuga, T. Kawashima, 2018, Systematic two-dimensional radiation hydrodynamic simulations of super-Eddington accretion flow and outflow: Comparison with the slim disk model, *Publications of the Astronomical Society of Japan*, 70, 108
5. T. Kawashima, K. Ohsuga, Super-critical column-accretion onto strongly magnetized neutron stars in ULX pulsars, submitted to *Publications of the Astronomical Society of Japan*
6. M. G. H. Krause, (including A. Y. Wagner) 2018, How Frequent Are Close Supermassive Binary Black Holes in Powerful Jet Sources? *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 482, pp.240–261
7. Shutaro Ueda, Tetsu Kitayama, Masamune Oguri, Eiichiro Komatsu, Takuya Akahori, Daisuke Iono, Takumi Izumi, Ryohei Kawabe, Kotaro Kohno, Hiroshi Matsuo, Naomi Ota, Yasushi Suto, Shigehisa Takakuwa, Motokazu Takizawa, Takahiro Tsutsumi, Kohji Yoshikawa, Cool core disturbed: Observational evidence for coexistence of sub-sonic sloshing gas and stripped shock-heated gas around the core of RXJ1347.5-1145, accepted for *The Astrophysical Journal*
8. K. Furuya, Y. Watanabe, T. Sakai, Y. Aikawa, S. Yamamoto, Depletion of ¹⁵N in the center of L1544: Early transition from atomic to molecular nitrogen?, 2018, *Astronomy & Astrophysics*, 615, L16
9. Zovaro, H.R.M. et al. (including A. Y. Wagner), 2019. Jets blowing bubbles in the young radio galaxy 4C 31.04., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 484, 3393
10. M. Nomura, K. Ohsuga, C. Done, Line-driven disc wind in near-Eddington active galactic nuclei: decrease of mass accretion rate due to powerful outflow, submitted to *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*

11. S. Arata, H. Yajima, K. Nagamine, S. Khochfar, C. Dalla Vecchia, Radiative properties of the first galaxies: rapid transition between blue and red, submitted to Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, arXiv: 181007621
12. W. E. Banda-Barragán, F. Zertuche, C. Federrath, J. García Del Valle, M.~Brüggen, and A. Y. Wagner, 2019, On the dynamics and survival of fractal clouds in galactic winds, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, submitted
13. I. Shimizu, K. Todoroki, H. Yajima, and K. Nagamine, 2019, Osaka Feedback Model: Isolated Disk Galaxy Simulations, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 484, 2632
14. E. Egami, ... H. Yajima (40 authors), Probing the high-redshift universe with SPICA: Toward the epoch of reionisation and beyond, 2018, PASA, 35, 48
15. E. Takeo, K. Inayoshi, K. Ohsuga, H. R. Takahashi, S. Mineshige, Super-Eddington growth of black holes in the early Universe: effects of disk radiation spectra, submitted to Monthly Notices of the Royal Astronomical Society
16. Kayanuma, M., Shoji, M., Furuya, K., Aikawa, Y., Umemura, M., Shigeta, Y., 2019, Theoretical study of the photodissociation reaction of methanol, Chemical Physics Letters 714, 137-142
17. Inoue, Akio K.; Hasegawa, Kenji; Ishiyama, Tomoaki; Yajima, Hidenobu; Shimizu, Ikkoh; Umemura, Masayuki; Konno, Akira; Harikane, Yuichi; Shibuya, Takatoshi; Ouchi, Masami; Shimasaku, Kazuhiro; Ono, Yoshiaki; Kusakabe, Haruka; Higuchi, Ryo; Lee, Chien-Hsiu, 2018, SILVERRUSH. VI. A simulation of Ly alpha emitters in the reionization epoch and a comparison with Subaru Hyper Suprime-Cam survey early data, Publications of the Astronomical Society of Japan 70, 55.
18. Abe, M., Suzuki, H., Hasegawa, K., Semelin, B., Yajima, H., Umemura, M., 2018, SEURAT: SPH scheme extended with ultraviolet line radiative transfer, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 476, 2664-2673.
19. Miki, Y., Umemura, M., 2018, MAGI: many-component galaxy initializer, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 475, 2269-2281.
20. K. Kubota, S. Yoshiura, K. Takahashi, K. Hasegawa, H. Yajima, M. Ouchi, B. Pindor, R. L. Webster, 2018, Detectability of the 21-cm signal during the epoch of reionization with 21-cm Lyman-alpha cross correlation -I, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 479, 2754
21. K. Sugimura, T. Hosokawa, H. Yajima, K. Inayoshi, K. Omukai, 2018, Stunted accretion growth of black holes by combined effect of angular momentum and radiation feedback, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 478, 3961

22. H. Yajima, K. Sugimura, K. Hasegawa, 2018, Modelling of Lyman-alpha emitters and ionized bubbles at the epoch of reionization, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 477, 5406
23. A. K. Inoue, K. Hasegawa, H. Yajima, et al. 2018, SILVERRUSH. VI. A simulation of Lyman-alpha emitters in the reionization epoch and a comparison with Subaru Hyper Suprime-Cam survey early data
24. H. Fukushima, H. Yajima, K. Omukai, 2018, Condition for dust evacuation from the first galaxies, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 477, 1071
25. M. Abe, H. Suzuki, K. Hasegawa, H. Yajima, B. Semelin, H. Yajima, M. Umemura, 2018, SEURAT: SPH scheme extended with ultraviolet line radiative transfer
26. Komossa, D. W. Xu, & A. Y. Wagner. Extreme gaseous outflows in radio-loud narrow-line Seyfert 1 galaxies, 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 477, pp.5115–5126.
27. D. Mukherjee, G. V. Bicknell, A. Y. Wagner. et al, Relativistic jet feedback - III. Feedback on gas discs, 2018, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 479, pp.5544–5566.
28. Y. Takamizu, Gradient expansion formalism for nonlinear superhorizon perturbations, submitted to Physical Review D, p1-p13, arXiv:1804.07516[gr-qc]

B) 査読無し論文

1. K. Yoshikawa, A. Tanikawa, Phantom-GRAPe: A Fast Numerical Library to Perform N-body Calculations, 2018, Research Notes of the AAS, 2, 231

(2) 国際会議発表

A) 招待講演

1. 大須賀健, Radiation-MHD simulations of accretion flows and outflows around black holes and neutron stars, Max-Planck/Princeton Center for Plasma Physics Workshop, 4/23-4/26, Princeton Center for Theoretical Science, アメリカ合衆国
2. 大須賀健, Super-Eddington Flows and X-ray spectra, ULTRA-LUMINOUS X-RAY PULSARS, 6/6-6/8, European Space Astronomy Centre, スペイン
3. 大須賀健, Numerical simulations of super-Eddington accretion flows and outflows around black holes and neutron stars, 42nd COSPAR Scientific Assembly, 7/14-7/22, Pasadena, CA, USA
4. Wagner Alexander, Multiphase AGN Feeding and Feedback, 7/9 - 7/13, Sexten, Italy

5. 大須賀健, Radiation-MHD simulations of super-Eddington accretion flows and outflows, Time for Accretion, 8/6-8/10, Sigtuna, Sweden
6. 古家健次, Astrochemical models of water, Astrochemistry:: Past, Present, and Future, 7/10-7/13, Pasadena, CA, USA
7. 古家健次, Hydrogen and nitrogen isotopes follow different fractionation pathways in interstellar clouds, Our astrochemical history; Past, Present, and Future, 9/10-9/14, Assen, Netherlands
8. 吉川耕司, Vlasov simulations of collisionless selfgravitating systems and astrophysical plasmas, CCS International Symposium 2018, 15-16 Oct., Univ. of Tsukuba, Japan
9. 矢島秀伸, Cosmological simulations of dusty starburst galaxy formation in protocluster regions, East Asia ALMA science workshop, 17-19 Dec., Osaka Prefecture University, Japan
10. 大須賀健, R Effects of magnetic field on active galactic nuclei (accretion disk), Polarimetry in the ALMA era: A New Crossroads of Astrophysics, 3/26-3/29, NAOJ, Japan
11. 矢島秀伸, Cosmological simulations of galaxy formation in protocluster regions, FAPESP-Japan workshop, 18-21 Feb., University of Sao Paulo, Brazil
12. 大須賀健, Effects of magnetic field on active galactic nuclei (accretion disk), Polarimetry in the ALMA era: A New Crossroads of Astrophysics, 3/26-3/29, NAOJ, Japan

B) 一般講演

1. Satoshi Tanaka, Kohji Yoshikawa, Naoki Yoshida, Higher-order Vlasov-Poisson Simulation for Large-Scale Simulation with Massive Neutrino, XXX IUPAP Conference on Computational Physics 2018, 7/29 – 8/2, 2018, University of California, Davis, USA
2. 古家健次, Hydrogen and nitrogen isotopes follow different fractionation pathways in star-forming clouds, 42nd COSPAR Scientific Assembly, 7/14-7/22, Pasadena, CA, USA
3. 吉川耕司, Vlasov-Poisson simulations of cosmic neutrinos in the large-scale structure formation, The Eighth East Asian Numerical Astrophysics Meeting (EANAM 2018). October 22-26, National Cheng-Kung University (NCKU), Tainan, Taiwan
4. 田中賢, Effect of recombination radiation in the formation of first stars, The Eighth East Asian Numerical Astrophysics Meeting (EANAM 2018). October 22-26, National Cheng-Kung University (NCKU), Tainan, Taiwan
5. 古家健次, Isotopic fractionation in interstellar clouds: Hydrogen, carbon, nitrogen, and oxygen, Workshop on Interstellar Matter 2018, November 14-16, Hokkaido, Japan
6. 矢島秀伸, Cosmological simulations of first galaxy formation: Impacts of first stars, 2nd annual symposium of gravitational wave genesis, November 26-28, Kyoto University, Japan

7. 田中賢, Vlasov-Poisson simulations of neutrinos in the large-scale structure formation, The 1st R-CCS International Symposium, February 18-19, Kobe International Conference Center, Kobe, Japan
8. 矢島秀伸, Cosmological simulations of galaxy formation in the early Universe, LNBL-Tsukuba Workshop 2019, March 6-7th, Berkeley, USA
9. 大須賀健, Accretion onto isolated BHs and its observational signatures, Area Workshop 2019, Gravitational wave physics and astronomy: Genesis, February, 19, Nagaoka University of Technology, Niigata, Japan
10. 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, 3/31-4/5, Puerto Vallarta, Mexico
11. 矢島秀伸, Panchromatic study of the first galaxies in cosmological simulations, IAU Symposium 341, PanModel2018: Challenges in Panchromatic Galaxy Modelling with Next Generation Facilities, 12-16 Nov. Osaka University, Japan

(3) 国内学会・研究会発表

A) 招待講演

1. 古家健次, 星・惑星系形成領域における水素・窒素同位体分別, 日本地球惑星科学連合 2018 年大会, 2018 年 5 月 20 日-24 日, 幕張メッセ, 千葉
2. 田中賢, 『ブラソフ方程式の高精度数値解法』, 平成 30 年度 名古屋大学宇宙地球環境研究所および国立極地研究所 共同研究集会 STE シミュレーション研究会, 2018 年 9 月 3 日-5 日, 成蹊大学, 東京
3. 梅村雅之, 『宇宙生命計算科学連携拠点と研究成果』, 宇宙科学談話会, 2018 年 10 月 17 日, JAXA 宇宙科学研究所, 相模原
4. 古家健次, 分子雲から円盤への水の進化, アストロバイオロジーセンターシンポジウム 2019, 2019 年 1 月 31 日-2 月 1 日, 東京工業大学, 東京
5. 大須賀健, 『超臨界降着流・噴出流のダイナミクス ～ブラックホール vs 中性子星～』, 高感度・広帯域 X 線観測で探るブラックホール降着現象の物理, 2019 年 3 月 5-6 日, 京都大学
6. 大須賀健, 『ブラックホール降着円盤の理論と観測への期待』, 高エネルギー宇宙物理学の最前線と 2020/30 年代のロードマップ, 2019 年 3 月 18-20 日, 東京大学
7. 矢島秀伸, 『初期宇宙におけるサブミリ波銀河と巨大ブラックホールの共進化』, 呉 AGN 研究会, 2019 年 2 月 8 日-9 日, 呉高専, 広島

B) その他の発表

1. 田中賢, 『初代星形成における再結合放射の影響』, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第 10 回 シンポジウム, 2018 年 7 月 12-13 日, THE GRAND HALL (品川), 東京
2. 高橋芳太, 梅村雅之, 「相対論的流体中での光子多重散乱効果」, 日本天文学会 2018 年秋季年会 (2018 年 9 月 19 日~21 日, 兵庫県立大学, 姫路)
3. 郷田直輝, 辻本拓司, 矢野太平, 上田暁俊, 宇都宮真, 鹿島伸悟, 間瀬一郎, 亀谷收, 浅利一善, 山田良透, 吉岡諭, 穂積俊輔, 梅村雅之, 西亮一, 浅田秀樹, 長島雅裕, 山田亨, 中須賀真一, 酒匂信匡, ほか JASMINE ワーキンググループ一同「Nano-JASMINE と小型 JASMINE の全体的な状況」, 日本天文学会 2018 年秋季年会 (2018 年 9 月 19 日~21 日, 兵庫県立大学, 姫路)
4. 都丸亮太 (東大理, IPMU), 大須賀健 (筑波大), Chris Done (Durham 大学), 高橋忠幸 (IPMU, 東大理), X 線連星における降着円盤風の放射流体シミュレーション, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
5. 川島朋尚 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (国立天文台), 一般相対論的輻射輸送計算で探る超臨界降着ブラックホール・中性子星の輻射スペクトルの差異とその起源, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
6. 五十嵐太一 (千葉大学), 加藤成晃 (理化学研究所), 高橋博之 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), 松元亮治 (千葉大学), ブラックホール降着流におけるハード・ソフト遷移の大局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, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
7. 朝比奈雄太 (京都大学), 高橋博之 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), ボルツマン方程式を解いた一般相対論的輻射磁気流体コードの開発, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
8. 北木孝明 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (国立天文台), スリム円盤モデルは正しかったのか?, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
9. 竹尾英俊 (京都大学), 稲吉恒平 (コロンビア大学), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (国立天文台), 嶺重真 (京都大学), 円盤スペクトルが超臨界降着に与える影響, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
10. 恒任優, 嶺重慎 (京都大), 大須賀健 (筑波大), 川島朋尚 (国立天文台), 活動銀河核におけるシンクロトロン偏光輻射輸送計算, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫

11. 野村真理子, 大向一行 (東北大学), 大須賀健 (筑波大学), ラインフォース駆動型円盤風の金属量依存性: 銀河-SMBH 共進化への影響, 日本天文学会秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学姫路キャンパス, 兵庫
12. 田中賢, 吉川耕司, 岡本崇, 長谷川賢二 『第一世代星形成における再結合放射の影響』, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
13. 吉川耕司, 田中賢, 斎藤俊, 吉田直紀 『ニュートリノによる宇宙大規模構造への力学的影響』, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
14. 森正夫, 田沼萌美, ダークマターハローのユニバーサルスケーリング関係, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
15. 加藤一輝, 森正夫(筑波大学), 扇谷豪(ニース天文台), 穂積俊輔(滋賀大学), SCF 法によるダークマターハローの cusp-core 遷移過程の解析, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
16. 永野裕太, 森正夫(筑波大学), 新田伸也(筑波技術大学), コールドダークマターハロー中の銀河風の線形安定性解析, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
17. 永野裕太, 森正夫(筑波大学), 新田伸也(筑波技術大学), コールドダークマターハロー中の銀河風の線形安定性解析, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
18. 宮川銀次郎, 森正夫(筑波大学), 三木洋平(東京大学), 桐原崇亘(千葉大学), Dark satellite と矮小銀河の衝突シミュレーション, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
19. 五十嵐朱夏, 森正夫(筑波大学), 新田伸也(筑波技術大学), 星形成銀河からのアウトフローの遷音速解析, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19 日-21 日, 兵庫県立大学 姫路工学キャンパス, 兵庫
20. 古家健次, 「分子雲コア L1544 中心領域における重窒素の希釈」, 日本天文学会 2018 年秋季年会, 2018 年 9 月 19-21 日, 兵庫県立大学, 兵庫
21. 加藤一輝, 「Cusp-core 遷移過程におけるダークマターハローの力学進化」, 第 9 回 DTA シンポジウム ダークマターハロー研究会, 2018 年 8 月 27-28 日, 国立天文台 三鷹キャンパス

22. 大須賀健, 一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションの進展と今後の課題, 第二回 ポスト「京」時代の天体形成シミュレーション研究会, 神戸大学, 2018 年 10 月 12 日
23. 田中賢, 「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」, 素粒子・原子核・宇宙「京からポスト京に向けて」シンポジウム, 2019 年 1 月 9 日-10 日, 筑波大学 東京キャンパス文京校舎, 東京
24. 吉川耕司, 「SIMD 命令を用いた重力多体計算と SPH 計算の高速化」, 国立天文台天文シミュレーションプロジェクト 2018 年度ユーザーミーティング, 国立天文台, 2019 年 1 月 15 日
25. 田中賢, 「Vlasov シミュレーションによる宇宙大規模構造形成におけるニュートリノ影響」, 国立天文台天文シミュレーションプロジェクト 2018 年度ユーザーミーティング, 国立天文台, 2019 年 1 月 16 日
26. 櫻井幹記, 小林直樹, 白石賢二, 岡本直也, 石原卓, 古谷眸, 梅村雅之, 「原始惑星系円盤乱流の圧縮性がダスト粒子運動に及ぼす影響について」, 日本天文学会 2019 年春季年会, 2019 年 3 月 14 日-17 日, 法政大学, 東京
27. 梅村雅之, 「計算宇宙生命科学からの期待」, 宇宙生命探査シンポジウム・設立準備研究会, 2019 年 3 月 25 日, JAXA 宇宙科学研究所, 相模原
28. 矢島秀伸, 「宇宙再電離期における原始銀河団形成」, 銀河進化と遠方宇宙, 神奈川大学, 2019 年 3 月 11-13 日
29. 安部牧人, 「初代星の影響を考慮した高精度初代銀河形成シミュレーション」, 銀河進化と遠方宇宙, 神奈川大学, 2019 年 3 月 11-13 日
30. 安部牧人, 「初代星の影響を考慮した高精度初代銀河形成シミュレーション」, 天文学会年会, 法政大学, 2019 年 3 月 14-17 日
31. 大須賀健, 「円盤風の噴出による円盤構造の変化について」, ブラックホール降着流ミニワークショップ, 千葉大学, 2019 年 2 月 28 日-3 月 1 日
32. 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, 2019 年 3 月 25 日
33. 朝比奈雄太 (京都大学), 高橋博之 (中部大学), 大須賀健 (筑波大学), 「ボルツマン方程式を解く一般相対論的磁気流体コードによる超臨界降着流シミュレーション」, 日本天文学会春季年会, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京
34. 井上壮大, 大須賀健(筑波大), 川島朋尚(国立天文台), 「中性子星への超臨界降着柱モデルによる超高光度 X 線源の X 線パルスの計算」, 日本天文学会春季年会, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京

35. 川島朋尚 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), 高橋博之 (中部大学), 「超臨界降着流を伴うブラックホール・中性子星の輻射スペクトルの質量降着率依存性」, 日本天文学会春季年会, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京
36. 都丸亮太 (東大理, IPMU), 大須賀健 (筑波大), Chris Done (Durham 大学), 高橋忠幸 (IPMU, 東大理), 「X 線連星のハード状態における熱駆動型円盤風」, 日本天文学会春季年会, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京
37. 北木孝明 (京都大学), 嶺重慎 (京都大学), 大須賀健 (筑波大学), 川島朋尚 (国立天文台), 「超臨界降着流の大域計算」, 日本天文学会春季年会, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京
38. 五十嵐太一 (千葉大学), 加藤成晃 (理化学研究所), 高橋博之 (国立天文台), 大須賀健 (筑波大学), 松元亮治 (千葉大学), 「セイファート銀河の降着流における X 線放射領域形成の 3 次元大局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, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京
39. 恒任優, 嶺重慎 (京都大), 大須賀健 (筑波大), 川島朋尚 (国立天文台), 中村雅徳 (台湾中央研究院), 「偏光の一般相対論的輻射輸送計算による活動銀河核ジェットの構造解明」, 日本天文学会春季年会, 2019 年 3 月 14-17 日, 法政大学小金井キャンパス, 東京
40. 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, 2019 年 3 月 26-27 日
41. 矢島秀伸, 「大規模数値シミュレーションで探る吸収線系と銀河進化」, Cosmic Shadow 2018, 石垣島, 沖縄
42. 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, 3/25, JAXA
43. 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, 3/26-3/27, 鹿児島大学

(4) 著書、解説記事等

1. 森正夫, Newton 別冊『138 億年の大宇宙』 宙の章 PART3 「宇宙の未来」, 2018 年 9 月 5 日発行

7. 異分野間連携・国際連携・国際活動等

1. Edinburgh-Tsukuba Collaboration Meeting, The University of Edinburgh (3rd – 4th December, 2018), M. Umemura, H. Yajima, A. Wagner

2. LBNL- CCS Joint Workshop, Lawrence Berkeley National Laboratory (6th – 7th March, 2019), M. Umemura, H. Yajima

8. シンポジウム、研究会、スクール等の開催実績

1. 研究会開催「銀河・銀河間ガス研究会 2018」2018 年 8 月 8 日(水)～10 日(金), 筑波大学・計算科学研究センター・会議室 A
2. 研究会開催「天体形成研究会」, 2018 年 11 月 2 日(金), 3 日(土), 筑波大学・計算科学研究センターワークショップ室
3. 研究会開催「初代星・初代銀河研究会 2018」, 2018 年 11 月 19 日～21 日, 茨城大学, 水戸市
4. 研究会開催「Radiation Hydrodynamic Approaches to the Study of Black Hole Accretion and Outflows」, 2019 年 2 月 22 日, 筑波大学・計算科学研究センター会議室 A

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

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

- 森正夫

スポーツデー運営委員
カリキュラム委員会委員
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

10. 社会貢献・国際貢献

- 梅村雅之

竹園東小学校講演会「宇宙の旅」, 2018 年 12 月 14 日

日本天文学会欧文研究報告編集顧問

- 大須賀健

NHK カルチャーラジオ「やさしいブラックホール入門」, 2018 年 12 月 7 日, 14 日, 21 日, 28 日 (全 4 回)

なかの ZERO プラネタリウム「大人のための天文教室『やさしいブラックホール天文学 ~基本から最新の成果まで』」, 2018 年 11 月 17 日

スパコンを知る集い in 山口「スパコンで迫るブラックホール~天文学最大の謎の解明へ向けて~」, 2019 年 1 月 26 日

理論天文学宇宙物理学懇談会運営委員会 運営委員長

11. その他