

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：13902

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2022

課題番号：17K05439

研究課題名（和文）ブラックホール時空探査と宇宙ジェットの起源

研究課題名（英文）Exploration of Black Hole Spacetime and Origin of Astrophysical Jets

研究代表者

高橋 真聡（Takahashi, Masaaki）

愛知教育大学・教育学部・教授

研究者番号：30242895

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：活動銀河中心核からほぼ光速で噴出する宇宙ジェットの加速機構について、中心核に位置する巨大ブラックホール周りの磁気圏形状と遷磁気音速磁気流体プラズマ流の定常解を解析した。この定常解を「M87銀河宇宙ジェット」の観測データに適用することで、加速領域がアルフェン点から速い磁気音速点を跨ぐ領域にあり、プラズマ源はブラックホール半径の100倍付近であることを示した。また、宇宙ジェットは1年間に20-50回程で自転すること、ジェット1粒子あたりのエネルギーは静止質量の10倍程だが回転エネルギーはその0.9倍であること、ジェットのエネルギー源はブラックホールの回転エネルギーで説明可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ブラックホールがこの宇宙に実在することの直接観測的証拠を得るため、ブラックホール近傍プラズマの直接的撮像や輝線スペクトル観測、およびブラックホールから磁力線を開始して遠方に伸びる宇宙ジェットの形状・速度場の観測が試みられている。本研究では、これらの観測を踏まえた理論的研究を進めており、観測データを解釈し、その指し示すブラックホールの本質に迫ろうとしている。このことは、天体物理学・重力理論・プラズマ物理学の学際的融合により可能となるが、他分野への波及効果も大きい。ブラックホールの曲がった時空の科学（重力波、ブラックホール影など）は、マスコミ報道など通じて社会的にも大きなインパクトを与えている。

研究成果の概要（英文）：We have analyzed the steady-state solution of a trans-magnetosonic flow in the magnetosphere around a super-massive black hole, which is located in the central region of an active galactic nucleus, for the acceleration mechanism of a relativistic jet. By applying the analytical solution onto the observation data of the M87 relativistic jet, we show that the acceleration region straddles the fast magnetosonic point from the Alfvén point, and that the plasma source is around 100 times the black hole radius. We estimated that the jet rotates about 20-50 times per year. While the total energy per particle of the magnetized jet is about 10 times the rest mass, the rotational energy is 0.9 times the total energy. Thus, we discuss the rotation of the jet. We also show that the magnetized jet's power can be explained by the rotational energy of a black hole.

研究分野：理論宇宙物理学

キーワード：ブラックホール 宇宙ジェット 磁気流体力学 一般相対論 磁気圏 活動銀河核 プラズマ加速

1. 研究開始当初の背景

銀河系や活動銀河の中心核領域には「大質量ブラックホール」が存在すると推測される。しかし、その“直接的”観測証拠は未だ得られていない。2015年に重力波が初検出され、その可能性が強く示唆されるに至っているものの、ブラックホールの形成過程やブラックホールを取り巻く周辺環境の理解のためには電磁波観測による強重力場の探査が不可欠となる。実際、今までのX線・近赤外線・電波観測により数多くの“ブラックホール候補”天体が発見されており、一般相対論の枠組みでのプラズマ物理学の理論研究も盛んに行われている。特に、2000年以降は、数値シミュレーション技法を用いた研究が増えてきている。

ブラックホール時空探査として、主として5つのアプローチが試みられている：

(1) **「ブラックホール影」「降着ガス円盤」の直接撮像**：電波望遠鏡群を用いたサブミリ波 VLBI 技術の向上により、近傍銀河 (M87 銀河) 中心核や銀河系中心核 (SgrA\*) に位置する大質量ブラックホール周辺が高分解能で撮像可能になってきた。ブラックホール周辺プラズマの撮像観測が実施され、「ブラックホール影」のサイズ・輪郭形状が明確になると、ブラックホール質量やスピンおよびプラズマ降着に強い制限を与えることができる。

(2) **宇宙ジェットの付け根領域の速度分布・**

**磁場分布の測定**：サブミリ波電波 VLBI により M87 銀河中心核近傍の宇宙ジェット源が観測できるようになってきた (図1)。これにより、宇宙ジェット形成機構や降着円盤の構造が観測的に検証できると期待できる。宇宙ジェットの活動性を引き起こすエネルギー源は、ブラックホールに落下するガスの重力エネルギーあるいは回転ブラックホールの回転エネルギーと考えられ、磁気圏としての活動性 (ブラックホール磁気圏) が重要であると

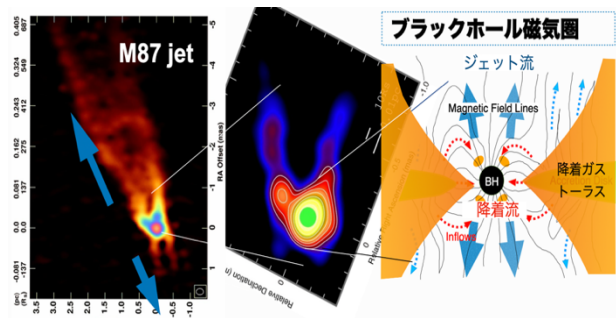


図1 宇宙ジェット(左・中)とブラックホール磁気圏(右)。

考えられる。宇宙ジェットの解明は、ブラックホール時空の解明に繋がる。

(3) **降着ガス円盤 X 線反射成分中に見られる「鉄輝線スペクトル」観測**：ブラックホール周辺に衝撃波形成などにより高温プラズマ塊が生じると、発生した X 線は降着ガス円盤を照射し、その反射光に鉄元素の輝線スペクトルが生じる。この輝線にはブラックホール強重力による“重力赤方偏移”とガス円盤の高速回転運動による“ドップラー効果”の作用が含まれる。これらにより、輝線スペクトルには線幅が生じ、その分布は非対称となる。計画中の次世代 X 線観測衛星が打ち上げられると、このスペクトルの詳細が観測できて、ブラックホール時空や高温プラズマ塊・降着ガス円盤の状態が解明されると期待される。

(4) **過剰ソフト X 線成分の詳細観測**：ブラックホール候補天体からは、降着ガス円盤を起源とするハードな X 線スペクトル以外にも、過剰なソフト X 線の成分が見つかった。その起源は降着ガス円盤を取り囲む「コロナ」や「磁気圏」からの高エネルギー放射とされ、スペクトルにはブラックホール時空と周辺の相対論的プラズマ環境が反映されると期待される。

(5) **ブラックホール近傍を周回する恒星の軌道決定**：銀河系中心ブラックホールを周回する恒星群 (S2 天体など多数) の運動が近赤外線モニター観測されている。これらの天体はブラックホールにより歪められた時空中を運動するため、ニュートン力学 (楕円軌道) からずれた軌道を描く。その軌道は閉じず、近点は周回につれて回転移動する。例えば、S2 は約 16 年の周期で公転するが、この軌道の詳細を解析することで強重力場の状態 (一般相対論効果) を測定できる。

**基礎的理論的研究**としては、ブラックホールの周辺環境での電磁流体的研究が進められており、特に磁気圏としての活動性や磁気プラズマの加速機構 (宇宙ジェットに関連)、重力レンズ効果による降着ガス円盤の見え方 (ブラックホール影に関連)、輝線スペクトル予測 (鉄輝線観測に関連) についての理論研究が進められている。上記 5 つの観測計画と照らし合わせることで、ブラックホールおよびその周辺環境の物理素過程が理解できると期待している。

(補足)ブラックホールの観測的研究に関し、本研究開始以降 (2017 年以降) の 2019 年に M87 銀河ブラックホール影撮像の研究結果が発表された。また 2020 年には、銀河系中心に超大質量コンパクト天体 (ブラックホール有力候補) を発見した研究にノーベル物理学賞が授与された。このように、2015 年の重力波初検出を皮切りに、観測的ブラックホール研究が本格化している。

## 2. 研究の目的

ブラックホールのごく近傍に分布するプラズマ環境について、一般相対論的磁気流体力学の枠組みで解析し、電磁波観測と無矛盾な理論モデルを構築する。特に、回転ブラックホールによる時空の引きずりの効果がブラックホール周辺プラズマ環境にどのような影響を与えるか詳細に研究する。これにより、電波観測による「ブラックホール影撮像」や X 線観測による「輝線スペクトル形状」を的確に予測する。

(1) 本研究では、上記のブラックホール時空探査の観測的アプローチについて、理論的側面から取り組む。ブラックホール周りのプラズマ分布や磁場形状に対して、一般相対論的磁気流体力学を駆使し「ブラックホール磁気圏」の理論モデルを提案する。どの物理量をどの精度で測定すれば、どのような時空構造やプラズマ環境が理解できるか、あるいは定量的制限が課せられるかについて、これから本格化するブラックホール検証観測に先立ち調べる。具体的には、ブラックホール近傍の磁場形状やコロナの温度分布を考察するため、磁気流体降着流の定常解を解析する。また、この定常解のもとでの衝撃波形成モデルを構築し、鉄輝線を生み出す高温プラズマ領域および鉄輝線の特性を調べる。

(2) ブラックホール周辺の磁場は、ブラックホールを周回する降着ガス円盤やコロナ領域内を運動するプラズマ流(電流を形成)によって生成される。一方で、プラズマはこの磁場に束縛されて運動するため、ブラックホール・ガス降着流・宇宙ジェットを理解するには、プラズマの運動と磁場形状を自己矛盾無く解く必要がある。本研究では、定常解を解析的手法で扱うが、ブラックホール真空磁気圏解や磁場が卓越したブラックホール磁気圏研究についての先行研究(Tomimatsu & Takahashi 2001, 2003)にプラズマ慣性の効果を摂動的に取り入れ、ガス降着流によるブラックホールの回転エネルギー抽出や宇宙ジェットの加速機構の本質(プラズマ慣性効果と時空の引きずり効果)を探る。

(3) ブラックホール周辺での高エネルギー現象および宇宙ジェットのエネルギー源としては、自転するブラックホールの回転エネルギーが重要な役割を果たすと考えられている。ブラックホールの回転エネルギーは、活動銀河核や宇宙ジェットの活動性を十分に説明できるほど膨大であるが、そのエネルギー輸送機構(Blandford-Znajek 機構, Super-radiance) や定量的見積については未解決課題が多い。そこで、エネルギー輸送先である宇宙ジェットの速度分布・磁場分布・放射強度分布およびその時間変動から合理的な仮説を設定し、定常流解との整合性を考察することで、中心ブラックホール環境を推定する。

(4) ブラックホールを周回する恒星の軌道は、一般相対論効果(重力赤方偏移)により楕円軌道を描かない(ケプラーの第一法則からのズレが生じる)。恒星の位置と視線速度を詳細観測し、相対論的軌道計算に照らし合わせることで、ブラックホール質量や自転速度を測定する。ブラックホールからやや離れて周回する恒星は質点と見做せるので、降着ガス円盤や宇宙ジェットの場のようなプラズマ系の複雑な考察は必要なく、重力場のみを理想化して扱える点にメリットがある。この理論モデルは一般相対論を前提に構築するが、観測データとのフィッティングにより、一般相対論とは異なる重力理論がより適切な結果を与えるかもしれない。現状では一般相対論のモデルで無矛盾であるが、強重力場下における重力理論の検証としても重要である。

(5) 上記の複合的項目を統一的に理解し、超高エネルギー天体現象の理解のため、より現実的な「ブラックホール周辺プラズマ環境」や「ブラックホール磁気圏の構造」を明らかにする。

## 3. 研究の方法

(1) 磁場が卓越したブラックホール磁気圏の解析解: ブラックホール周りには、降着ガス円盤やコロナ領域を流れるプラズマ(電流)により“大局的磁場”が生み出される。磁気流体としてのプラズマは磁力線に沿って運動するが、プラズマの慣性は磁力線を変形させようとする。磁気圏の構造は、この磁場と流体の相互作用の結果として得られる。ただし、この類いの解析解の解法は一般的には確立しておらず、様々な近似下での扱いがほとんどである。本研究では、ブラックホール周りの定常軸対称 force-free 磁気圏解(流体に比べて磁場の効果が強い極限)に流体の物理量(密度や流速)を摂動的に取り入れて、プラズマ慣性の効果によって磁力線がどのように変形されるか調べる(研究目的1)。解析のための一般相対論的磁気流体の基本方程式は独自に整備済みであり(Takahashi et al. 1990, Takahashi & Tomimatsu 2008)、この摂動計算自体は実行できる。磁気圏を記述する境界条件および物理パラメータ解析に注意深い洞察が必要であるが、我々が蓄積してきた数理科学的知見を駆使し対処するアイデアがある。

(2) ブラックホール近傍の磁場形状およびプラズマ流体の加速機構やその条件を明らかにしたのち、観測されている天体現象への適用を考察する(研究目的2)。これについてはモンタナ州立大学(Prof. Tsuruta)との共同研究として、ガンマ線バースト・エンジンの理論モデルを検討する。そのための数値シミュレーションコード開発および数値パラメータ設定は、モンタナ州立大グループが担当する

(3) ブラックホール近傍磁場と宇宙ジェット加速：活動的銀河 M87(図1)からは、非常に加速されたビーム状のプラズマ流(宇宙ジェット)が観測されているが、近年の高解像度 VLBI 観測により、宇宙ジェット根元領域での磁場形状および速度分布が得られている。ブラックホールへの降着ガス円盤および宇宙ジェット発生の現場が見えるには至っていないが、放出された宇宙ジェット放射強度の波長依存性を詳細にデータ解析することで、ブラックホール近傍プラズマや宇宙ジェットのプラズマ源を詳しく議論できるようになってきた。これを受けて、磁気圏モデルの物理パラメータ値を具体的に推定することが可能となった。そこで、ブラックホール近傍のコロナ・磁気圏領域からの磁気エネルギー優勢プラズマ流を考え、パラメータサーチによる電波 VLBI 観測データとのフィッティングを行う(研究目的3)。既に、磁気圏モデルを M87 宇宙ジェットの観測データに適用したが、自己矛盾の無い加速プロファイルやエネルギー変換の説明に成功している(図3)。この手法は、他の銀河(NGC315 等)宇宙ジェットにも適用でき、宇宙ジェットの加速や形状についての統一的な理解を得る標準ツールになると期待できる。

#### 4. 研究成果

本研究では、一般相対論的磁気流体力学の手法を宇宙ジェットの観測データに照らし合わせた。また、ブラックホールの回転エネルギーに由来する天体現象の活動性について考察した。おもな研究成果は以下の通りである：

(1) Force-free 磁気圏の数値解法：Force-free 磁場の基礎方程式(磁力線間の力の釣り合いの方程式)を整備し、ブラックホール周りの磁気圏の磁場形状およびエネルギー輸送について数値解析した(Thoelecke et al. 2017, 2019)。

初期条件として split-monopole 解を設定し、方程式中に現れる特異点(Light surface)での臨界条件を適切に扱うことで、ブラックホール周りの大局的磁場構造を自己矛盾無く解くことができた。この磁気圏を特徴づける物理パラメータには、ブラックホールの角速度と磁力線の角速度がある。数値解析の結果、磁力線の角速度がブラックホールの角速度よりも小さい時には、ブラックホールから遠方に向かって伸びる磁力線は回転軸方向に収束していくことがわかった。ブラックホールと磁力線の角速度が同程度の場合には、磁力線の形状は split-monopole 形状となる。磁力線の角速度がブラックホールの角速度に比べて大きい場合には、磁力線は回転軸から離れていくように湾曲する。このように、角速度の相対的な大小関係により、磁場の大局的構造が決まる様子が示された。また、ブラックホールの回転エネルギー引き抜き(Blandford-Znajek 機構)の効率についても、この角速度の比が重要となることがわかった。引き抜かれたエネルギーのほとんどは赤道面の方向に輸送され、回転軸方向への輸送はわずかである。宇宙ジェットのエネルギー源をブラックホール回転エネルギーと考える場合、引き抜かれたエネルギーのごく僅かが宇宙ジェットに配分されることになるが、そ

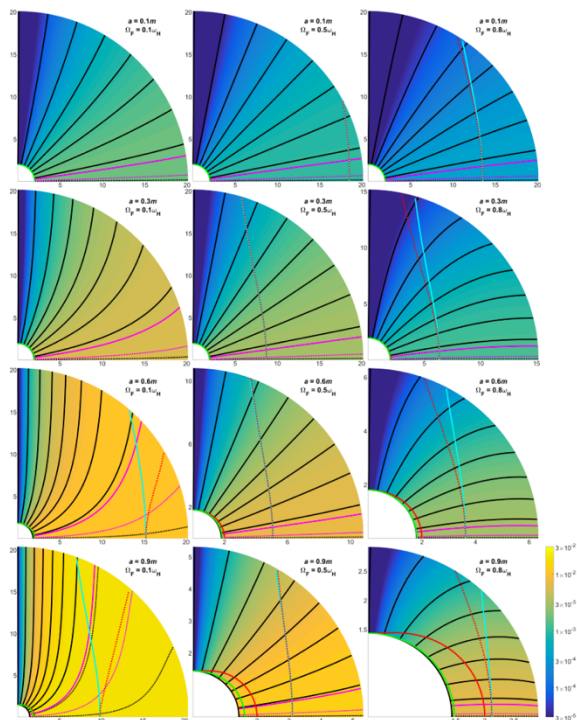


図2 ブラックホール force-free 磁気圏の自己矛盾の無い数値解。黒線は磁力線のポロイダル成分を表す。カラーはトロイダル成分の大きさを表す(黄色ほど磁力線の巻き付きが大きい)。上段はブラックホールの角速度が小さい場合、下段ほどブラックホールは速く自転する。左列は磁力線の角速度がブラックホールの角速度より小さい場合で、磁力線は回転軸方向に収束する。これに対して、右列は大きい場合を示し、回転軸から離れるように湾曲する。

れでも観測される宇宙ジェットパワーを十分に説明できる程であることも確認できた。この認識は、一般的に考えられている描像とは異なり興味深い。

(2) **宇宙ジェットの加速機構**: M87 宇宙ジェットの速度場については今までに複数組みの観測データが得られている。近年、宇宙ジェットの源に迫る加速領域の速度場が測定されるようになり、その速度場データを我々の磁気流体定常解に適用した(図 3)。宇宙ジェット加速領域の位置が測定されたことより、これを定常解と照らし合わせることで、光円柱半径を特定することができた (Pu & Takahashi 2020; Takahashi, Kino & Pu 2021; Kino, Takahashi et al. 2022)。これより宇宙ジェットの回転角速度が推定可能である。我々が得た回転角速度の値は一般的に考えられていた値よりも小さく、重力によりインフローが卓越する内部磁気圏と遠心力によりアウトフローが卓越する外部磁気圏の境界領域 (separation surface) の位置が従来考えられている地点よりも遠方に位置することを示した。この傾向が他の宇宙ジェットでも同様なのかについては、今後の観測研究の重要テーマとなる。separation surface の位置について定量的に言及した研究は他にはなく、重要な成果と言える。

(3) **波動による BH エネルギー引き抜き**: 細いビーム状に放出される宇宙ジェットのエネルギーの起源は、ブラックホールに降着するガスが解放する重力エネルギーに加えて、高速自転するブラックホールが保有する膨大な回転エネルギーであると考えられる。ブラックホール近傍には磁気圏が形成される程の強磁場環境が存在するため、Blandford-Znajek 機構を介して、ブラックホールの回転エネルギーを磁気圏に輸送できる。磁気圏では様々な擾乱が生じていると考えるのが自然であるが、これにより発生する波動(アルフェン波、磁気音波)は効率よくエネルギーと角運動量を宇宙ジェットに輸送する。磁気圏内を伝播する波動の一部は、ブラックホールの時空の引きずりの効果によりその振幅が増幅され (super-radiance)、宇宙ジェットのエネルギーおよび高エネルギー輻射のエネルギーに転換できる。本研究では Alfvén 波についての super-radiance の機構を導き、その効率について考察した (Noda et al. 2017, 2020)。この Alfvén 波の super-radiance の発生条件は Blandford-Znajek の条件と等しく、さらに Blandford-Znajek 機構とは Alfvénic super-radiance の長波長極限であることが示された。このことは電磁場によるブラックホール回転エネルギー抽出機構の本質に迫る重要な主張となる。

(4) **すばる望遠鏡による銀河系中心 S2 星の軌道測定**: ブラックホール時空探査のため、銀河系中心の巨大重力源を周回する天体の軌道運動を詳細観測した。我々は国立天文台ハワイ観測所の“すばる望遠鏡”を用い、S2 天体について近点接近時の視線速度を高精度測定し、ケプラー運動からの“ずれ”を検出した (Nishiyama et al. 2018, Saida et al. 2019, Takamori et al. 2020)。このずれは、一般相対論を用いた理論モデルによる軌道計算でよく説明できて、一般相対論の正当性と重力源がブラックホール時空であること排除しない結果を導く。本研究は国内研究者が主体の共同研究であるが、データ不足を補完するため、データ解析に際して米国の研究グループと連携した研究発表も行った (Do et al. 2019, Hess et al. 2020)。

(5) **ブラックホール磁気圏プラズマの波動現象および安定性**: 非相対論の扱いだが、ブラックホール磁気圏プラズマ研究の前段階として、軸対称の非線形波動(ソリトン)の伝播について解析し、ソリトンによる粒子加速を考察した (Ishihara et al. 2018)。また、宇宙ジェットのプラズマ源の安定性解析のため、特殊相対論における二流体高温プラズマについての分散式を導き、その不安定条件を解析した (Koide et al. 2023: 投稿中)。

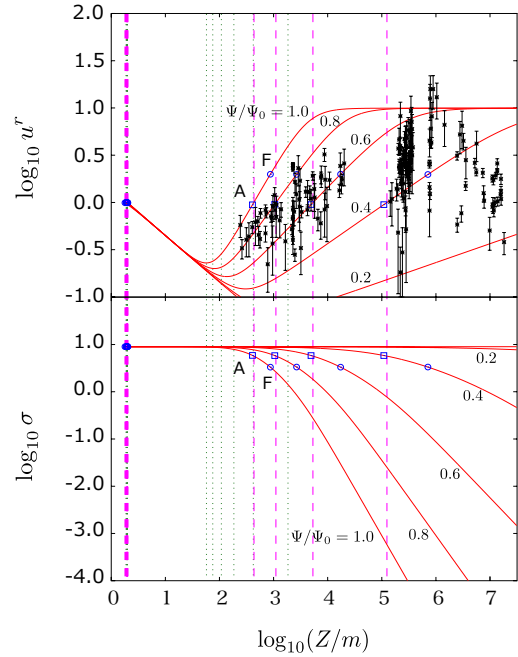


図 3 相対論的磁気流体定常解 (赤線) と M87 宇宙ジェットの速度場(上図)および磁化率(下図)。横軸はブラックホールからの距離。上図においてアルフェン点(A)と速い磁気音速点(F)を含む右上がりスロー領域が宇宙ジェット(アウトフロー)の加速領域となる。ブラックホール近くの左上がりの領域は、ブラックホールへのインフロー領域である。この境目の領域に separation surface (宇宙ジェットのプラズマ供給源)が位置する。磁化率(下図)は遠方にくにつれて減少するが、このことは宇宙ジェットの磁気的エネルギーが流体の運動に転換していることを意味する。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Kino Motoki, Takahashi Masaaki, Kawashima Tomohisa, Park Jongho, Hada Kazuhiro, Ro Hyunwook, Cui Yuzhu	4. 巻 939
2. 論文標題 Implications from the Velocity Profile of the M87 Jet: A Possibility of a Slowly Rotating Black Hole Magnetosphere	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 83 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac8c2f	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Noda Sousuke, Nambu Yasusada, Takahashi Masaaki, Tsukamoto Takuma	4. 巻 105
2. 論文標題 Alfvénic superradiance for a monopole magnetosphere around a Kerr black hole	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 064018(10)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.064018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takahashi Masaaki, Kino Motoki, Pu Hung-Yi	4. 巻 104
2. 論文標題 Relativistic jet acceleration region in a black hole magnetosphere	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 103004(17)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.104.103004	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Takahashi Masaaki, Kino Motoki	4. 巻 528
2. 論文標題 Trans-fast Magnetosonic Inflows and Outflows in a Black Hole Magnetosphere	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond	6. 最初と最後の頁 443-444
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Miyoshi, M, Asaki, Y, Tsuboi, M, Uehara, K, Oka, T, Iwata, Y, Takahashi, M, Ishitsuka, J, Tsutsumi, T, Miyazaki, A, Matsumoto, R	4. 巻 528
2. 論文標題 Short Time Scale Variation in the Sub-millimeter Flux of Sgr A*	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond	6. 最初と最後の頁 259-261
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Do, T, Hees, A, Ghez, A, Martinez, G. D, Chu, D. S, Jia, S, Sakai, S, Gautam, J. R. Lu, A. K, O'Neil, K. K, Becklin, E. E, Morris, M. R, Matthews, K, Nishiyama, S, Campbell, R, Chappell, S, Chen, Zhuo, Ciurlo, A, Witzel, A, Gallego-Cano, E, Kerzendorf, W. E, Lyke, J. E, Naoz, S, Saida, H, Schodel, R, Takahashi, M, (+4)	4. 巻 528
2. 論文標題 Testing Fundamental Physics With Stellar Orbits at the Galactic Center	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond	6. 最初と最後の頁 249-254
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Koide Shinji, Noda Sousuke, Takahashi Masaaki, Nambu Yasusada	4. 巻 928
2. 論文標題 One-dimensional Force-free Numerical Simulations of Alfvén Waves around a Spinning Black String	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 84-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ac47f8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takamori, Yohsuke; Nishiyama, Shogo; Ohgami, Takayuki; Saida, Hiromi; Saitou, Rio; Takahashi, Masaaki	4. 巻
2. 論文標題 Constraints on the dark mass distribution surrounding Sgr A*: simple 2 analysis for the redshift of photons from orbiting stars	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 eprint arXiv:2006.06219	6. 最初と最後の頁 10pages
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Pu Hung-Yi, Takahashi Masaaki	4. 巻 892
2. 論文標題 Properties of Trans-fast Magnetosonic Jets in Black Hole Magnetospheres	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 37 ~ 37
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab77ab	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Noda Sousuke, Nambu Yasusada, Tsukamoto Takuma, Takahashi Masaaki	4. 巻 101
2. 論文標題 Blandford-Znajek process as Alfvénic superradiance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 023003:1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.023003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Do, T., Hees, A., Ghez, A., Martinez, G. D., ....(21)..., Takahashi, M., ... (3)	4. 巻 365
2. 論文標題 Relativistic redshift of the star S0-2 orbiting the Galactic Center supermassive black hole	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Science	6. 最初と最後の頁 664 ~ 668
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/science.aav8137	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Thoelecke Kevin, Takahashi Masaaki, Tsuruta Sachiko	4. 巻 2019
2. 論文標題 The structure of magnetically dominated energy-extracting black hole magnetospheres: Dependencies on field line angular velocity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 093E01:1-24
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz097	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する



1. 著者名 Hees A., Do T., Roberts B.M., Ghez A.M., Nishiyama S., Bentley R.O., Gautam A.K., Jia S., Kara T., Lu J.R., Saida H., Sakai S., Takahashi M., Takamori Y.	4. 巻 124
2. 論文標題 Search for a Variation of the Fine Structure Constant around the Supermassive Black Hole in Our Galactic Center	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 081101:1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.081101	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Saida Hiromi, Nishiyama Shogo, Ohgami Takayuki, Takamori Yohsuke, Takahashi Masaaki, Minowa Yosuke, Najarro Francisco, Hamano Satoshi, Omiya Masashi, Iwamatsu Atsushi, Takahashi Mizuki, Gorin Haruka, Kara Tomohiro, Koyama Akinori, Ohashi Yosuke, Tamura Motohide, Nagatomo Schun, Zenko Tetsuya, Nagata Tetsuya	4. 巻 71
2. 論文標題 A significant feature in the general relativistic time evolution of the redshift of photons coming from a star orbiting Sgr A*	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 126:1-23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz111	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Ishihara, Hideki; Matsuno, Ken; Takahashi, Masaaki; Teramae, Syuto	4. 巻 98
2. 論文標題 Particle acceleration by ion-acoustic solitons in plasma	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 123010 (9pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.98.123010	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shogo Nishiyama Hiromi Saida Yohsuke Takamori Masaaki Takahashi Rainer Schdel Francisco Najarro Satoshi Hamano Masashi Omiya Motohide Tamura Mizuki Takahashi Haruka Gorin Schun Nagatomo Tetsuya Nagata	4. 巻 70
2. 論文標題 Radial velocity measurements of an orbiting star around Sgr A*	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 74 (27pages)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy067	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Thoelecke, Kevin; Takahashi, Masaaki; Tsuruta, Sachiko	4. 巻 1901
2. 論文標題 The Structure of Magnetically Dominated Energy Extracting Black Hole Magnetospheres: Dependencies on Field Line Angular Velocity	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 eprint arXiv:1901.01275	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Thoelecke, Kevin; Takahashi, Masaaki; Tsuruta, Sachiko	4. 巻 1901
2. 論文標題 Perturbing Monopolar Force-Free Magnetospheres to Slowly Rotating Black Holes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019arXiv190101245T	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Thoelecke, Kevin; Takahashi, Masaaki; Tsuruta, Sachiko	4. 巻 C16
2. 論文標題 The Structure of Magnetically Dominated Black Hole Magnetospheres	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 APS April Meeting 2018, abstract id.C16.006	6. 最初と最後の頁 6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Thoelecke Kevin, Tsuruta Sachiko, Takahashi Masaaki	4. 巻 95
2. 論文標題 Effects of inner Alfvén surface location on black hole energy extraction in the limit of a force-free magnetosphere	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 063008-1, 23
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.063008	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Noda Sousuke, Nambu Yasusada, Takahashi Masaaki	4. 巻 95
2. 論文標題 Analog rotating black holes in a magnetohydrodynamic inflow	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 104055-1, 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.95.104055	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計51件 (うち招待講演 11件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏における磁気音波の伝播
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会 (新潟大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Masaaki Takahashi
2. 発表標題 Black Hole force-free magnetosphere and Beltrami magnetic field
3. 学会等名 OCAMI Joint Usage/Research Space-time topology and geometry with a focus on vortex and magnetic fields(福岡市) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏のプラズマ源について
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会2023(鹿児島市)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小出眞路、高橋芳太、高橋真聡
2. 発表標題 AGN ジェットのプラズマ供給源における二流体不安定性
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会(新潟大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西山正吾, 唐朋央, 斉田浩見, 孝森洋介, 高橋真聡, 大神隆幸, 市川幸平, 長田哲也
2. 発表標題 銀河系中心巨大ブラックホール近傍の晩期型巨星の起源の研究
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会(新潟大学)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 石原秀樹, 高橋真聡, 小川達也
2. 発表標題 一様なベルトラミ磁場中のアルヴェン波
3. 学会等名 OCAMI Joint Usage/Research Space-time topology and geometry with a focus on vortex and magnetic fields (福岡市) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 宇宙ジェットのインフロー領域
3. 学会等名 日本天文学会2022年春季年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏中の磁気音波の伝播
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏研究の現在、過去、未来
3. 学会等名 研究会「相対論と重力研究の現在、過去・未来」(招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋真聡、紀基樹、Pu, Hung-Yi
2. 発表標題 M87宇宙ジェット加速領域：GRMHDアウトフローにおける角運動量輸送
3. 学会等名 日本天文学会2021秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小出眞路、野田宗佑、高橋真聡、南部保貞
2. 発表標題 BTZ ブラックストリングまわりの磁気圏中を伝播するアルペン波の数値計算
3. 学会等名 日本天文学会2021秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 紀基樹(工学院大/国立天文台), 高橋真聡(愛教大), 中村雅徳(八戸高専), 當真賢二(東北大), 川島朋尚(東大宇宙線研), Park J. (ASIAA), 秦和弘(国立天文台), Ro H. (延世大), Cui Y. (国立天文台)
2. 発表標題 M87ジェット速度場データから探るジェット磁気圏の回転角速度と磁場強度
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 孝森洋介(和歌山高専), 西山正吾(宮城教育大), 斉田浩見(大同大), 高橋真聡(愛知教育大), 大神隆幸(甲南大), 齋藤亮(大同大)
2. 発表標題 すばる望遠鏡で探る銀河系中心ブラックホール周囲の暗黒質量分布
3. 学会等名 日本天文学会2020年秋季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斉田浩見(大同大), 西山正吾(宮城教育大), 齋藤亮(大同大学), 大神隆幸(甲南大), 孝森洋介(和歌山高専), 高橋真聡(愛知教育大), 美濃和陽典(NAOJ)
2. 発表標題 巨大ブラックホールSgr A*の強重力場での重力理論の選別
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋真聡(愛知教育大), 大海ほのか(大阪教育大), 紀基樹(工学院大)
2. 発表標題 M87 ブラックホール磁気圏と宇宙ジェット
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masaaki Takahashi
2. 発表標題 Acceleration of M87 Jet in the Black Hole Magnetosphere
3. 学会等名 30th Texas Symposium on Relativistic Astrophysics (Univ. of Portsmouth, UK) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 BZ機構とM87ジェット：磁気エネルギーから 運動エネルギーへのエネルギー変換
3. 学会等名 不惑BH研究会 (名古屋大学) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaaki Takahashi
2. 発表標題 Trans-fast Magnetosonic Inflows and Outflows in a Black Hole Magnetosphere
3. 学会等名 New Horizons in Galactic Center Astronomy and Beyond (Keio Univ., Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋真聡(愛知教育大)、大海ほのか(大阪教育大)、紀 基樹(工学院大)
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏での遷磁気音速ジェット加速
3. 学会等名 日本天文学会 (熊本大)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 M87ブラックホール影とMHDジェット形成
3. 学会等名 日本物理学会（山形大）（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 GR-MHD定常流とM87-Jet
3. 学会等名 名古屋大学QG夏の学校（名古屋大）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏での遷-磁気音速流
3. 学会等名 宇宙惑星ジェットの数理（京都大）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 M87ブラックホール影とMHDジェット加速
3. 学会等名 名古屋大学QGセミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 西山正吾 (宮城教育大), 齊田浩見 (大同大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋真聡 (愛知教育大), 大神隆 幸 (甲南大), 濱野哲史, 美濃和陽典, Olivier Guyon, Julien Lozi (国立天文台)
2. 発表標題 Subaru/TMT 近赤外線高分散分光観測による等価原理 (LPI) の検証
3. 学会等名 日本天文学会 (熊本大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 齊田浩見 (大同大), 西山正吾 (宮城教育大), 大神隆幸 (甲南大), 孝森洋介 (和歌山高専), 高橋 真聡 (愛知教育大), 美濃和陽典 (NAOJ), 他 すばるプロポーザル/科研費基盤 A, B 構成員
2. 発表標題 銀河系中心巨大ブラックホールの強重力における一般相対論の検証
3. 学会等名 日本天文学会 (熊本大学)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaaki Takahashi
2. 発表標題 M87-jet powered by Blandford-Znajek mechanism
3. 学会等名 The 29th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (Kobe Univ., Japan) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsukamoto, Noda, Nambu, Takahashi
2. 発表標題 Superradiance of the Alfvén wave in force-free region
3. 学会等名 International Conference of Modified Gravity 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 BH磁気圏磁場構造とBZ-Flux 分布
3. 学会等名 名古屋大学QGセミナー
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋真聡、石原秀樹、松野研、寺前柊斗
2. 発表標題 Magnetoacoustic Solitons in Olasma
3. 学会等名 名古屋大学QG夏の学校
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 BZ機構と磁気圏構造：M87宇宙ジェットへの適用について
3. 学会等名 BZ77研究会2018（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 斉田浩見、西山正吾、大神隆幸、孝森洋介、高橋真聡
2. 発表標題 銀河系中心巨大BHの相対論効果の測定：BHを巡る星から届く光の赤方偏移の時間変動に現れるダブルピーク構造の発見
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大神隆幸、斉田浩見、西山正吾、高橋真聡、孝森洋介
2. 発表標題 銀河系中心BHを周回する星の観測を通じた相対論効果の測定
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山正吾、斉田浩見、孝森洋介、高橋真聡、R.Schodel、F. Najarro、濱野哲史、五林遥、大橋遥介、小山晃徳、唐朋央、岩松篤、高橋美月、大宮正士、長田哲也、長友竣、善光哲哉、田村元秀、美濃和陽典史
2. 発表標題 銀河系中心巨大BHを巡る星S2の研究1：すばる視線速度モニター観測の現状
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 斉田浩見、西山正吾、孝森洋介、高橋真聡、R.Schodel、F. Najarro、濱野哲史、五林遥、大橋遥介、小山晃徳、唐朋央、岩松篤、高橋美月、大宮正士、長田哲也、長友竣、善光哲哉、田村元秀、美濃和陽典史
2. 発表標題 銀河系中心巨大BHを巡る星S2の研究2：一般相対論の検証への挑戦
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三好真、朝木義晴、坪井昌人、上原顕太、加藤成晃、松元亮治、岡朋治、岩田悠平、高橋真聡
2. 発表標題 銀河系中心大質量ブラックホールSgr A*の340 GHz帯短期強度変動(II)
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大神隆幸、齋田浩見、西山正吾、孝森洋介、高橋真聡
2. 発表標題 すばる望遠鏡による大質量銀河中心ブラックホールの相対論効果の調査
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 ブラックホール磁気圏定常流の速度分布・密度分布
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西山正吾、齋田浩見、孝森洋介、高橋真聡、R.Schodel、F. Najarro、濱野哲史、五林遥、大橋遥介、小山晃徳、唐朋央、岩松篤、高橋美月、大宮正士、長田哲也、長友竣、善光哲哉、田村元秀、美濃和陽典史
2. 発表標題 銀河系中心巨大BHを巡る星S0-2/S2の研究3：すばる視線速度モニター観測2018の解析状況
3. 学会等名 日本天文学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaaki Takahashi
2. 発表標題 Blandford-Znajek power in a Jet-Disk magnetosphere
3. 学会等名 AGN Jet Workshop 2018 "Dawn of a New Era for Black Hole Jets in Active Galaxies" (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 BH磁気圏磁場構造とBZ-flux分布
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋真聡、紀基樹
2. 発表標題 M87ジェットの形状と加速：相対論的理論モデルの適用
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西山正吾、斉田浩見、高橋真聡、孝森洋介、濱野哲史、五林遥、高橋美月、大宮正士、長田哲也、長友竣、田村元秀
2. 発表標題 銀河系の巨大ブラックホールを周回する星S2の視線速度モニター観測
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三好 真、朝木義晴、坪井昌人、上原顕太、加藤成晃、松元亮治、岡朋治、岩田悠平、高橋真聡
2. 発表標題 銀河系中心大質量ブラックホール Sgr A*の 350 GHz 帯短期強度変動
3. 学会等名 日本天文学会2017年秋季年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 孝森洋介, 斉田浩見, 西山正吾, 高橋真聡
2. 発表標題 銀河系中心領域の暗い質量分布による S2 の視線速度への影響について
3. 学会等名 日本天文学会2018年春季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松野研、石原秀樹、寺前柊斗、高橋真聡
2. 発表標題 プラズマ中の密度波ソリトンによる粒子加速
3. 学会等名 日本物理学会第27回年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松野研、石原秀樹、高橋真聡
2. 発表標題 プラズマ中の密度波ソリトンにより加速される荷電粒子のエネルギースペクトル
3. 学会等名 日本物理学会第28回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaaki Takahashi
2. 発表標題 Jet-Disk structure in a Black hole Magnetosphere
3. 学会等名 The 27th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 Negative-Energy inflow : MHD降着流定常解について
3. 学会等名 不惑B277研究会 : 回転ブラックホールからの電磁氣的エネルギー引き抜き (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石原秀樹、松野研、高橋真聡、寺前柊斗
2. 発表標題 プラズマ中の疎密波ソリトンによる粒子加速機構
3. 学会等名 ブラックホール磁気圏研究会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 紀基樹、高橋真聡
2. 発表標題 M87ジェットの駆動機構に迫る
3. 学会等名 BH-jet 水沢ミーティング2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋真聡
2. 発表標題 宇宙ジェットの定常解
3. 学会等名 BH-jet 水沢ミーティング2017
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

ブラックホール磁気圏研究会2023 <a href="https://sites.google.com/view/blackholemag2023/">https://sites.google.com/view/blackholemag2023/</a> ブラックホール磁気圏研究会2022 <a href="https://sites.google.com/view/black-hole-mag-2022/">https://sites.google.com/view/black-hole-mag-2022/</a> Black Hole Horizon Project <a href="https://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/Project_Horizon/BZ77_(Blandford-Znajek_'77)_研究会@名古屋大学">https://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/Project_Horizon/BZ77_(Blandford-Znajek_'77)_研究会@名古屋大学</a> <a href="https://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BZ77_WS2019/">https://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BZ77_WS2019/</a> ブラックホール磁気圏研究会2021@オンライン <a href="https://sites.google.com/view/bhmag2021/">https://sites.google.com/view/bhmag2021/</a> ブラックホール磁気圏研究会2019 <a href="http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BHmag2019/">http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BHmag2019/</a> ブラックホール磁気圏研究会2018@熊本大学 <a href="http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BHmag2018/">http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/BHmag2018/</a> 天文月報 特集「銀河中心SgrA*とブラックホール時空」 <a href="http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/T-Geppou/">http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/T-Geppou/</a> 第2回 長野ブラックホール天文教育研究会 <a href="http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/GCF2015/">http://www.phyas.aichi-edu.ac.jp/~takahasi/GCF2015/</a>
---

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関			
その他の国・地域	National Taiwan Normal University			
米国	Montana State University	University of California	James Madison University	
カナダ	Perimeter Institute for Theo. Phys.			