

令和 3 年 5 月 14 日現在

機関番号：32617

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K14260

研究課題名(和文) ブラックホール及び中性子星降着円盤の活動性と起源の解明

研究課題名(英文) Numerical Study of Gas Accretion onto Black Hole and Neutron Star

研究代表者

高橋 博之 (TAKAHASHI, Hiroyuki)

駒澤大学・総合教育研究部・講師

研究者番号：80613405

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：超高光度X線源に代表される、高い光度を示す天体は中心にブラックホールを持ち、ブラックホールへとガスが降着することで高いエネルギーを生み出すと考えられてきた。しかし近年のX線観測により、一部の天体はブラックホールではなく中性子星を持つことがわかってきた。本研究では数値計算を行うことにより、ブラックホール同様、中性子星への大量のガス降着が可能であり、かつ高い光度を維持できると、また、光度だけでなくスペクトル解析をすることにより、中心天体がブラックホールか中性子星であるかを区別可能性があること、さらにブラックホールのスピン情報も得られることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高い光度を示す天体は、その中心に強い重力を生み出すブラックホールが存在し、ガスが降着することでエネルギーを生み出していると考えられてきた。しかし一部の天体はブラックホールではなく中性子星を持つことが観測的にわかってきた。本研究は「なぜブラックホールと異なり、星表面を持つ中性子星に大量のガスが落下できるのか」、「高い光度を示す天体は、本当にブラックホールを持つのか」という問いに答えをもたらす。今後は観測と直接比較することにより、大量のガスが降着する天体のうちどの程度の天体がブラックホールを持つのかを調べることで、大質量ブラックホールがどのように形成されたのかという宇宙史の謎に迫ることができる。

研究成果の概要(英文)：It has been thought that highly luminous X-ray sources, represented by Ultra Luminous X-ray sources, have a black hole in the center and generate high energy by gas accretion onto the black hole. However, recent X-ray observations have revealed that some objects have neutron stars rather than black holes. In this study, as with black holes, we performed hydrodynamic simulations and showed that a large amount of gas accretion on neutron stars is possible and high luminosity can be maintained. In addition, by analyzing the spectrum as well as luminosity, the central object can be identified. It was shown that it is possible to distinguish between a black hole and a neutron star, and that black hole spin information can also be obtained.

研究分野：天文学

キーワード：ブラックホール 中性子星 降着円盤 数値シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

ブラックホールはその強い重力のために周りのガスを引きつけ、ガスはブラックホールの周りを回りながら降着円盤を形成し、ブラックホールへと落下する。この際にガスは重力エネルギーを解放して明るく輝き、時折ジェットと呼ばれる高速噴出流を形成する。この系はガスが降着することにより重力エネルギーを解放して輝くため、超高光度 X 線源に代表される高い光度を持つ天体は大量のガスが重力の強いブラックホールに落下することでその活動性を維持していると考えられてきた。しかし近年になって超高光度 X 線源の一部はブラックホールではなく、中性子星を持つことが観測的にわかってきた。ブラックホールと異なり中性子星は星の表面を持つため、なぜ大量のガスが中性子星に落下できるのかは謎であった。また、一部の超高光度 X 線源は中性子星起源であることがわかってきたが、この天体が例外的な天体なのか、または、多くの超高光度 X 線源は中性子星起源であるのかは、謎であった。これはひとえに、観測から中心天体を同定することが難しいためである。

2. 研究の目的

観測的証拠から中性子星への大量のガス降着が起きていることがわかってきたが、理論的にはなぜ星表面を持つ中性子星へ大量のガス降着が可能であるのかはわかっていなかった。大量のガスが落下すると膨大な重力エネルギーが解放され、そのエネルギーは光のエネルギーへと変換される。大量のエネルギーを持つ光は降着するガスと衝突し、ガス降着を阻害すると考えられるためである。本研究の最初の目的は、中性子星への大量のガス降着の謎を解明することである。そして大量のガス降着が可能である場合、ブラックホールと中性子星で異なる点は何なのか、その異なる点があるのであれば、中心天体を直接観測しなくても同定できる方法があるのか、を模索することが次の目的である。

3. 研究の方法

ガス降着は非線形現象であるため、解析的な研究は難しい。そこで数値シミュレーションを用いた研究を行う。ガス降着のダイナミクスを追うためには流体力学計算が必要である。ガス降着はガス内で増幅される磁場を媒介して行われるため、磁場を陽に解く必要がある。また、中性子星は非常に強い磁場を持つため、強磁場においても安定に解くことができるコード開発が必須である。さらにガスの落下によって重力エネルギーが解放され、大量の光が生成される。この光はガスと相互作用することによってエネルギーのやりとりを行う。従って輻射輸送も扱う必要がある。これらのガス降着現象は、ブラックホールや中性子星のような非常に強い重力を持つため、一般相対性理論も組み込む必要がある。したがってガス降着現象を扱うために、一般相対論的輻射磁気流体コードを用いた数値シミュレーションを実行する。

4. 研究成果

まず一般相対論的輻射磁気流体コードを用いて、弱い磁場を持つ中性子星において、なぜ大量のガス降着が可能であるのか調べた。ブラックホールの場合には光エネルギーはブラックホールに吸い込まれるため、ガス降着が阻害されることはない (図1右)。一方で中性子星の場合にはその表面に光のエネルギーが蓄積される (図1左)。このエネルギーがガス降着を阻害すると考えられていたが、実際には光だけでなく大量のガスも蓄積される。このために光は大量のガスと衝突し、光は等方的な分布を持つようになる。この結果、ガスは四方から力を受けるため、光から受ける実効的な力の大きさは弱くなり、重力によるガス降着が可能となること示した。また、ブラックホールは中性子星と異なり、エネルギーやガスを吸い込むことはない。そのため大量のエネルギーやガスは円盤上空へと抜けて宇宙空間へと伝わるため、非常に明るく輝くことができることを示した。

同様に強い磁場を持つ中性子星においても大量のガス降着が可能であることを数値シミュレーションによって初めて明らかにした。中性子星が強い磁場を持つ場合、円盤からのガス降着は中性子星磁場によって阻害される (図2)。堰き止められたガスは中性子星の持つ磁場にそって中性子星に落下するため、中性子星の一部にガスがたまり明るく輝くことがわかった。中性子星表面の一部が明るく輝くような構造は、中性子星降着円盤で観測されるパルスを説明できるものと考えられる。このような強い磁場を持ち、中性子星の周りに磁気圏が形成されるような状況下で大量のガスの降着現象を再現したのは本研究が世界で初めてである。

これらの計算では中性子星やブラックホールのような中心天体の”近傍”にガスが存在する

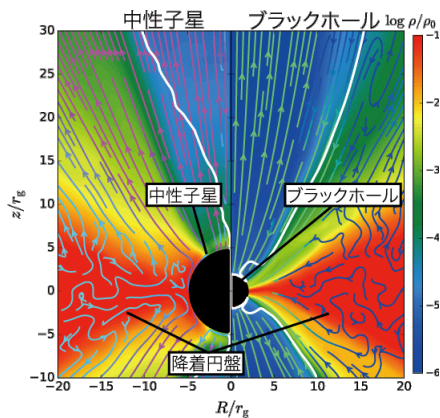


図 1. 弱い磁場を持つ中性子星(左)とブラックホール(右)へのガス降着現象の比較.色はガス密度を表す.

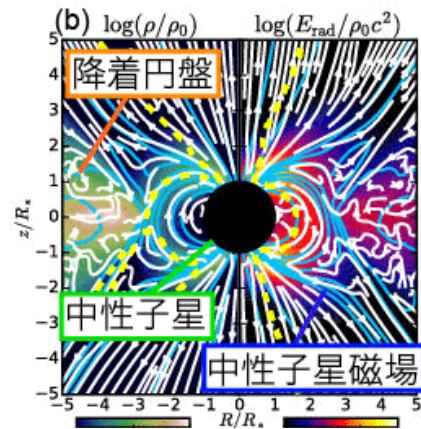


図 2. 強い磁場を持つ中性子星へのガス降着現象.色はガス密度(左)と光のエネルギー(右)を表す.

と仮定した場合、中心天体に大量のガスが降着できることを示している。一方で、はるか遠くから中心天体にガスを供給できるのか?という問題は残されていた。遠くから落下するガスは中心天体近傍の降着円盤からの放射によって電離され、その結果電離したガスは光から力を受けて降着が阻害される可能性がある。本研究ではより広い領域を包括した輻射流体計算を行い、この問題の解決を試みた。その結果、遠くから落下するガスは一部電離されるが、電離されたガスが日陰をつくるために中性を保ったガスが存在し、その結果大量のガスは中心天体に落下することが可能であることを示した。これらの結果は大域的に見ても中心天体への大量のガスを供給することが可能であることを示しており、ガス降着はブラックホールの成長の鍵であることを示している。

また降着円盤からの高速噴出流に着目すると、ブラックホールの場合はブラックホールが高速回転するほど強い高速噴出流を形成し、さらに高速回転するに従って光が優勢な噴出流から磁気エネルギーが優勢な噴出流になることを示した。これはブラックホールの回転エネルギーが磁場によって引き抜かれて高速噴出流が形成するためである。また、中性子星からの噴出流は大量のガス噴出を伴うことが示された。これらの違いは噴出流のエネルギーや組成から、中心天体の起源に迫ることができることを示している。

中性子星の高速噴出流の起源に関連して、強磁場かつ放射冷却が有効となるような状況下における磁気リコネクションによるエネルギー変換効率についても数値シミュレーションを用いて調べた。中性子星磁気圏は非常に磁場が強く、アルヴェーン波が光速に近いという相対論的状況下であり、このような状況では地球磁気圏に代表される非相対論的状況下とは大きく異なる。実際に数値シミュレーションを行った結果、磁気リコネクションによって解放された磁気エネルギーの一部は熱エネルギーに変換され、このエネルギーがガスの慣性に寄与するが、放射冷却によって温度が下がるため、磁気リコネクションによる噴出流の速度や、エネルギー変換効率が増加することがわかった。これらの結果は中性子星からのエネルギーの引き抜きに大きく寄与すると考えられる。

以上の研究は相対論的輻射磁気流体コードに基づくものであるが、このコードは(a)輻射を近似的に解いており、また、(b)計算量や手法の問題から高解像度の計算を行うことが難しいという問題点も残されていた。そこで(a)について、輻射について近似を用いない、第一原理計算に基づく一般相対論的輻射磁気流体コードの開発も行なった。この方法では降着円盤上空の比較的ガス密度が薄い領域においてこれまでの手法よりも高い精度を実現することが可能となる。このような領域は直接観測にかかる領域であるため、今後より広いパラメータ領域での計算を行うことで観測との直接比較が可能となる。また、(b)の問題については、計算コストのかかる一般相対論効果は無視するが、高精度計算可能な数値計算コードCANS+Rの開発を行なった。このCANS+Rを用いてブラックホールへのガス降着の3次元シミュレーションを行った結果、降着円盤からの噴出流は層流的ではなく、粒状にちぎれていくことがわかった(図3)。この粒状噴出流は光学的に厚いため、中心からのX線を遮蔽する。これにより観測されるX線の時間変動はちぎれた噴出流によるものと考えられる。

また、CANS+Rを用いて比較的ガス降着量が少ない場合の3次元計算も行なった。この場合円盤内では放射冷却が有効に働くために温度が下がり、円盤は重力によって鉛直方向に潰れる。一方で潰れた円盤の周りには高温降着流が共存することを示した。このような異なる温度の降着流の共存は一部の活動銀河核で観測されるスペクトルの変化(Changing Look AGN)を説明するモデルである。

CANS+Rは汎用コードであるため、BH降着円盤以外にも応用可能である。応用例の一例として中間質量ブラックホールの候補天体で観測されたガスの位置・速度空間におけるV字形の説明や、CANS+Rの一部のモジュールを参照して行った超新星爆発の磁気流体シミュレーションにも

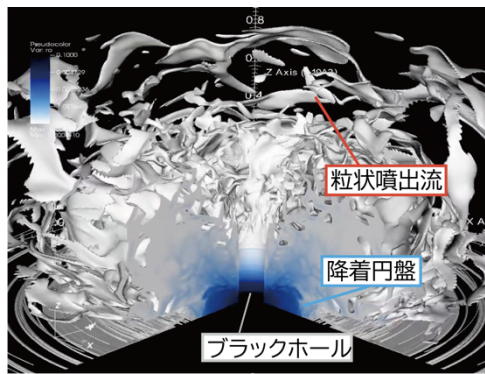


図 3. CANS+R を用いたブラックホールへのガス降着の3次元シミュレーション。噴出流が粒状にちぎれる。

応用した。

降着円盤の流体計算に加えて、ブラックホールや中性子星円盤から期待されるスペクトルについても光子モンテカルロ計算を用いて調べた。その結果、ブラックホールの場合、ブラックホールの回転の強さに応じてスペクトルは変化し、高速回転するほどより高エネルギーのX線を放射することがわかった。このようにスペクトルからも中心天体や回転速度を調べることが可能であることがわかってきた。

以上の結果はブラックホール同様、中性子星への大量のガス降着が可能であり、観測的に中心天体の同定が難しい天体においても噴出流のエネルギーや組成、さらにスペクトルから中心天体を同定することが可能であることを示している。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Asahina Yuta, Takahashi Hiroyuki R., Ohsuga Ken	4. 巻 901
2. 論文標題 A Numerical Scheme for General Relativistic Radiation Magnetohydrodynamics Based on Solving a Grid-based Boltzmann Equation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 96 ~ 96
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abaf51	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 Igarashi Taichi, Kato Yoshiaki, Takahashi Hiroyuki R., Ohsuga Ken, Matsumoto Yosuke, Matsumoto Ryoji	4. 巻 902
2. 論文標題 Radiation Magnetohydrodynamic Simulations of Sub-Eddington Accretion Flows in AGNs: Origin of Soft X-Ray Excess and Rapid Time Variabilities	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 103 ~ 103
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abb592	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 Matsumoto J, Takiwaki T, Kotake K, Asahina Y, Takahashi Hiroyuki. R.	4. 巻 499
2. 論文標題 2D numerical study for magnetic field dependence of neutrino-driven core-collapse supernova models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 4174 ~ 4194
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa3095	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 Takeshige Satoshi, Takahashi Hiroyuki R., Shibata Kazunari	4. 巻 71
2. 論文標題 Non-relativistic and relativistic magnetic reconnection with the effects of optically thin synchrotron cooling	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 63-1 - 63-13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz038	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 Takeo Eishun, Inayoshi Kohei, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R. Mineshige Shin	4. 巻 488
2. 論文標題 Super-Eddington growth of black holes in the early universe: effects of disc radiation spectra	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 2689 - 2700
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz1899	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 Matsumoto Yosuke, Asahina Yuta, Kudoh Yuki, Kawashima Tomohisa, Matsumoto Jin, Takahashi Hiroyuki R., Minoshima Takashi, Zenitani Seiji, Miyoshi Takahiro, Matsumoto Ryoji	4. 巻 71
2. 論文標題 Magnetohydrodynamic simulation code CANS+: Assessments and applications	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 83-1 - 83-26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz064	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 Nomura Mariko, Oka Tomoharu, Yamada Masaya, Takekawa Shunya, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R., Asahina Yuta	4. 巻 859
2. 論文標題 Magnetohydrodynamic Simulations of a Plunging Black Hole into a Molecular Cloud	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 29-35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aabe32	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 Hiroyuki R., Ohsuga Ken	4. 巻 845
2. 論文標題 General Relativistic Radiation MHD Simulations of Supercritical Accretion onto a Magnetized Neutron Star: Modeling of Ultraluminous X-Ray Pulsars	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6. 最初と最後の頁 L9 ~ L9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/2041-8213/aa8222	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 Moriyama Kotaro, Mineshige Shin, Takahashi Hiroyuki R.	4. 巻 850
2. 論文標題 High-frequency Quasi-periodic Light Variations from Arc-shaped Gas Clouds Falling onto a Black Hole	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 56 ~ 56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aa92cb	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 Hiroyuki R., Mineshige Shin, Ohsuga Ken	4. 巻 853
2. 論文標題 Supercritical Accretion onto a Non-magnetized Neutron Star: Why is it Feasible?	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 45 ~ 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aaa082	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 Takeo Eishun, Inayoshi Kohei, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R., Mineshige Shin	4. 巻 476
2. 論文標題 Rapid growth of black holes accompanied with hot or warm outflows exposed to anisotropic super-Eddington radiation	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6. 最初と最後の頁 673 ~ 682
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty264	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 Kobayashi Hiroshi, Ohsuga Ken, Takahashi Hiroyuki R., Kawashima Tomohisa, Asahina Yuta, Takeuchi Shun, Mineshige Shin	4. 巻 70
2. 論文標題 Three-dimensional structure of clumpy outflow from supercritical accretion flow onto black holes	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 22-1 ~ 22-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psx157	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計76件(うち招待講演 7件/うち国際学会 15件)

1. 発表者名 Hiroyuki R. Takahashi
2. 発表標題 Relativistic radiation magnetohydrodynamic simulations of accretion disks
3. 学会等名 Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Asahina, H. R. Takahashi, and K. Ohsuga
2. 発表標題 GR-RMHD simulations of black hole accretion flows
3. 学会等名 12th symposium on Discovery, Fusion, Creation of New Knowledge by Multidisciplinary Computational Sciences (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Kawashima, K. Ohsuga, and H.R. Takahashi
2. 発表標題 A general-relativistic, multi-wavelength study of accretion flows and relativistic jets
3. 学会等名 Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Utsumi, K. Ohsuga, H.R. Takahashi, and Y. Asahina
2. 発表標題 General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-critical accretion disks around Kerr black holes
3. 学会等名 Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Igarashi, Y. Kato, H. R. Takahashi, K. Ohsuga, Y. Matsumoto, R. Matsumoto
2. 発表標題 Radiation magnetohydrodynamic simulations of black hole accretion flows during hard-to-soft state transitions
3. 学会等名 Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 A. Inoue, K. Ohsuga, H. R. Takahashi, and Y. Asahina
2. 発表標題 General relativistic radiation-MHD simulations of supercritical accretion flows and outflows around magnetized neutron stars
3. 学会等名 Black Hole Astrophysics with VLBI: Multi-Wavelength and Multi-Messenger Era (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによるカー・ブラックホール周りの超臨界降着流の研究
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 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 輻射輸送方程式を解く一般相対論的輻射磁気流体コード INAZUMAによるブラックホール降着流計算
3. 学会等名 第33回 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 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
3. 学会等名 CfCAユーザーミーティング
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 GR-RMHDコードINAZUMAによるブラックホール降着流シミュレーション
3. 学会等名 ブラックホール降着流ミニ研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 UWABAMIの現状と観測に向けての発展
3. 学会等名 ブラックホール降着流ミニ研究報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体コードINAZUMAによるブラックホール降着流シミュレーション
3. 学会等名 多波長・時間軸天文学の時代のFORCE ~広帯域X線で迫るコンパクト天体の世界~
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 輻射輸送方程式を解くGR-RMHDコードINAZUMAによるブラックホール降着流シミュレーション
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 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 ブラックホール降着流の一般相対論的輻射磁気流体計算: 質量降着率依存性
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 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 超臨界中性子星降着流の降着率依存性および磁場強度依存性の研究
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 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによるカー・ブラックホール周りの超臨界降着流の研究
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 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 カー・ブラックホールをもつ超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション
3. 学会等名 天体形成研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 超臨界中性子星降着流の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション
3. 学会等名 天体形成研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 超臨界中性子星降着流の一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション ~アウトフローの磁気圏半径依存性について~
3. 学会等名 第33回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体力学計算によるULX パルサーの構造の解明; アウトフローの構造と起源について
3. 学会等名 多波長・時間軸天文学の時代のFORCE ~広帯域X線で迫るコンパクト天体の世界~
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションによる超臨界降着円盤のブラックホールスピン依存性の研究
3. 学会等名 多波長・時間軸天文学の時代のFORCE ~広帯域X線で迫るコンパクト天体の世界~
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体計算を用いたカー・ブラックホールへの超臨界降着の研究
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 井上壮大, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 超臨界磁化中性子星降着流のアウトフロー；構造と起源の磁気圏半径依存性について
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 五十嵐太一, 松元亮治, 加藤成晃, 高橋博之, 松本洋介, 大須賀健
2. 発表標題 AGN における準周期的な短時間変動の3次元大局的輻射磁気流体シミュレーション
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 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-critical accretion disks around kerr black holes
3. 学会等名 CfCA ユーザーズミーティング
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之, 朝比奈雄太
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーションによる超臨界降着円盤のブラックホールスピン依存性の研究
3. 学会等名 第33回理論懇シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 多波長の一般相対論的輻射輸送計算: ブラックホール・シャドウと電波からX線・ガンマ線までの輻射スペクトル
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 順回転、逆回転ブラックホールをもつ超臨界降着円盤の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 多重コンプトン散乱込みの一般相対論的6次元輻射輸送計算コードの開発
2. 発表標題 小川拓未, 大須賀健, 川島朋尚, 高橋博之
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 ボルツマン方程式を解く超臨界降着流の一般相対論的MHDシミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-Eddington accretion disks around prograde and retrograde black holes
2. 発表標題 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之
3. 学会等名 Active Galactic Nucleus Jets in the Event Horizon Telescope Era (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大須賀健, 高橋博之, 川島朋尚, 朝比奈雄太
2. 発表標題 BH high-power accretion & outflow
3. 学会等名 Active Galactic Nucleus Jets in the Event Horizon Telescope Era (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-Eddington accretion disks around prograde and retrograde black holes
2. 発表標題 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之
3. 学会等名 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大須賀健, 朝比奈雄太, 井上壮大, 内海碧人, 高橋博之, 川島朋尚
2. 発表標題 ブラックホール降着円盤およびジェット的一般相対論的輻射磁気流体力学シミュレーション
3. 学会等名 基研研究会「シミュレーションによる宇宙の基本法則と進化の解明に向けて」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大須賀健, 高橋博之, 川島朋尚, 朝比奈雄太
2. 発表標題 Radiation Hydrodynamic/Magnetohydrodynamic Simulations of Super-Eddington Accretion Flows and Outflows
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 内海碧人, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 General relativistic radiation magnetohydrodynamics simulations of super-Eddington accretion disks around prograde and retrograde black holes
3. 学会等名 The cosmos at high energies: exploring extreme physics through novel instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 ブラックホール・スピンの超臨界降着流の輻射スペクトルに与える影響
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小川拓未, 大須賀健, 川島朋尚, 高橋博之
2. 発表標題 多重コンプトン散乱込みの一般相対論的6次元輻射輸送計算コードの開発
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 竹尾英俊, 稲吉恒平, 大須賀健, 高橋博之, 嶺重慎
2. 発表標題 降着円盤からのフィードバックが超臨界降着条件に与える影響
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松元亮治
2. 発表標題 Changing Look AGN降着流の3次元輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松元亮治
2. 発表標題 恒星質量ブラックホール降着流における明るいハードステートの輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松元亮治
2. 発表標題 活動銀河中心核降着流の3次元大局的輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本流体力学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 松元亮治, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 Radiation Magnetohydrodynamic Simulations of Changing Look AGNs
3. 学会等名 14th Asia-Pacific Physics Conference 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 Numerical Study of Supercritical Accretion onto Black Holes and Neutron Stars
3. 学会等名 The Power of Faraday Tomography: towards 3D Mapping of Cosmic Magnetic Fields (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋博之
2. 発表標題 輻射抵抗下のリコネクションと天体-磁気圏角運動量輸送
3. 学会等名 STEシミュレーション研究会 -プラズマ-大気複合システムのシミュレーション研究- (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松元亮治
2. 発表標題 ブラックホール降着流の輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 日本流体力学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 竹尾英俊, 稲吉恒平, 大須賀健, 高橋博之, 嶺重慎
2. 発表標題 円盤スペクトルが超臨界降着に与える影響
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松元亮治
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 五十嵐太一, 加藤成晃, 高橋博之, 大須賀健, 松元亮治
2. 発表標題 Global Radiat Hydrodynamic Simulation of Hard-to-Soft Transition in Black Hole Accretion Flows
3. 学会等名 AAPPS-DPP (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 GR- RMHD: 振動数依存型の一般相対論的輻射磁気流体コード開発
3. 学会等名 CfCAユーザーズミーティング
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北木孝明, 嶺重慎, 大須賀健, 高橋博之, 川島朋尚
2. 発表標題 超臨界降着流の大域計算
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 一般相対論的輻射輸送コードの開発およびブラックホール・中性子星の超臨界降着流研究への適用
3. 学会等名 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
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 振動数依存の一般相対論的輻射輸送コードの開発と中性子星・ブラックホール超臨界降着流への適用
3. 学会等名 CfCA ユーザーズミーティング
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 Radiative spectra of super-Eddington accretion flows onto BHs and NSs
3. 学会等名 Radiation Hydrodynamic Approaches to the Study of Black Hole Accretion and Outflows
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島朋尚, 大須賀健, 高橋博之
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本流体力学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本天文学会秋季年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 Development of a general relativistic radiation magnetohydrodynamical code based on solving Boltzmann equation
3. 学会等名 AAPPS-DPP (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 ボルツマン方程式を解いた一般相対論的輻射MHDコードの開発
3. 学会等名 理論懇シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 ボルツマン方程式を解く一般相対論的磁気流体コードの開発
3. 学会等名 CfCAユーザーズミーティング
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 General relativistic radiation magnetohydrodynamic simulations of accretion flows
3. 学会等名 Max Planck Princeton Center Workshop 2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 Development of a GR-RMHD code based on solving the Boltzmann equation
3. 学会等名 Radiation Hydrodynamic Approaches to the Study of Black Hole Accretion and Outflows
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 ポルツマン方程式を解く降着円盤のGR-RMHDシミュレーション
3. 学会等名 ブラックホール降着流ミニワークショップ
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 朝比奈雄太, 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 ポ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
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋博之, 大須賀健, 小川拓未
2. 発表標題 振動数依存型一般相対論的輻射磁気流体シミュレーションコードの開発
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 高橋博之
2. 発表標題 超臨界降着の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 嶺重0Bグループ研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 中性子星への超臨界降着現象
3. 学会等名 CfCAユーザーズミーティング
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 中性子星と超臨界降着円盤
3. 学会等名 中性子星の観測と理論
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahashi, Hiroyuki R. & Ken Ohsuga
2. 発表標題 Supercritical Accretion onto Neutron Star
3. 学会等名 DTA workshop
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takahashi, Hiroyuki, R.
2. 発表標題 Radiation Magnetohydrodynamic Simulations of Accretion Flows and Outflows
3. 学会等名 AAPPs-DPP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋博之, 嶺重慎, 大須賀健
2. 発表標題 中性子星への超臨界降着は可能か?
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 高橋博之, 大須賀健
2. 発表標題 一般相対論的輻射磁気流体計算による中性子星への超臨界降着とアウトフロー形成機構
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 高橋博之
2. 発表標題 宇宙プラズマシミュレーション
3. 学会等名 第56回プラズマ若手夏の学校 核融合炉夏期セミナー(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋博之, 嶺重慎, 大須賀健
2. 発表標題 中性子星への超臨界降着の一般相対論的輻射磁気流体シミュレーション
3. 学会等名 磁気流体プラズマで探る高エネルギー天体現象研究会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

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

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------