

令和 4 年 6 月 12 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K03647

研究課題名（和文）新時代の銀河団宇宙線の起源の探求

研究課題名（英文）Exploration of the origin of Galactic cosmic-rays

研究代表者

藤田 裕 (Fujita, Yutaka)

東京都立大学・理学研究科・教授

研究者番号：10332165

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：宇宙最大の天体銀河団は大量の宇宙線粒子を含む宇宙最大の加速器でもある。この宇宙線の起源を追求すべく研究を行った。その結果、(1) 銀河団の構造には規則性があり、この規則をもとに銀河団の中で乱流が発生し、宇宙線が加速している可能性がある。(2) 銀河団中心の巨大ブラックホールも宇宙線を加速し、その結果銀河団を加熱している。(3) 銀河系内の超新星残骸は銀河団での宇宙線加速を知るためのロールモデルになりえる、ことがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銀河団の構造が持つ規則性に銀河団の形成と進化に関わる要素が含まれていることが明らかになった。従って銀河団の中の宇宙線加速もこの規則性に従って理解できることになる。一方、銀河団中心の超巨大ブラックホールも宇宙線を加速しているが、その宇宙線が広がりながら安定に銀河団を加熱していることもわかった。銀河団は地球からは遠く、詳細な観測は難しいが、地球の近傍にある超新星残骸は銀河団での宇宙線加速を知るための代替天体になることも示した。

研究成果の概要（英文）：Clusters of galaxies are the largest objects in the Universe. They are also the largest accelerators in the universe, containing a large number of cosmic ray particles. We pursued the origin of these cosmic rays. We found that (1) the structure of the cluster of galaxies has specific scaling relations. Turbulence may develop in them based on these relations, and cosmic rays may be accelerated by the turbulence. (2) The supermassive black holes in the center of the clusters also accelerate cosmic rays, and they heat the cluster. (3) The supernova remnants in the Galaxy can be seen as a role model of the acceleration of cosmic rays in the cluster of galaxies.

研究分野：宇宙物理学

キーワード：銀河団 宇宙線 乱流 活動銀河核 超新星残骸

1. 研究開始当初の背景

銀河団は宇宙最大の天体である。銀河が散在する銀河団内空間には、高温かつ希薄な銀河団ガスが充満している。数 10%の銀河団からは、銀河団のサイズに匹敵する大きさの、広がったシンクロトロン電波放射が観測されている。この放射は \sim GeV の宇宙線電子より放射されていると考えられているが、電波が放射されている場所に、電子の加速源となり得る銀河や活動銀河核 (AGN) は存在しないことが多い。以上の事実は、電子が銀河団ガス中の何らかの現象で加速されたか、AGN などの加速源から効率よく運搬されてきたことを示している。宇宙線加速はマイクロなプラズマ現象を反映しているので、銀河団での宇宙線加速を解明することは、地球上では達成できない高温の超希薄プラズマの物理を明らかにすることにつながる。一方、加速メカニズムは銀河団の構造や進化を反映していると考えられ、加速についての研究からそれらの手がかりも得られると考えられる。

2. 研究の目的

銀河団に含まれる大量の宇宙線がどのように加速されたのかはよくわかっていない。銀河団の宇宙線の多くは、銀河団に満ちている銀河団ガスを介して加速されていると考えられているが、このガスは非常に高温かつ希薄であり、加速環境としてはかなり特異なものである。そこで本研究では、まず宇宙線が、ガス中に発生する衝撃波や乱流で高いエネルギーまで加速される過程を明らかにする。さらに、宇宙線加速が始まる一連の過程と加速条件を、銀河団形成の観点から明らかにする一方、宇宙線が銀河団の進化に与える影響も調べる。また、我々の銀河系の環境での宇宙線加速メカニズムとの比較を行い、環境に依存した宇宙線の加速や伝搬の詳細を明らかにする。

3. 研究の方法

研究の手法としては理論研究と観測研究の両方を行った。

理論研究においては、銀河団が成長する過程で、宇宙線加速に結び付く乱流と衝撃波を発生する過程を解析的に考え、観測データと統計的に比較した。さらに銀河団中心の AGN が加速した宇宙線が周囲のガスに乱流により運搬される効果を数値シミュレーションで調べた。宇宙線の加速メカニズムに関しては、近傍に存在するため観測との比較が行いやすい超新星残骸も題材にして調べた。

観測研究においては、X線観測と電波観測を行った。X線観測では当初ひとみ衛星による観測を予定していたが、ひとみ衛星の喪失により、すざく衛星で得られた過去のデータの再解析に重点を置くことにした。電波観測では超高分解能の VLBA 電波望遠鏡を用い、銀河団中心の AGN の活動を直接観測し、AGN と周囲の環境との相互作用を調べた。

4. 研究成果

(1) 銀河団の構造の系統的研究

銀河団での宇宙線加速の要因となっている衝撃波や乱流は、銀河団が形成する過程で起きる銀河団同士の衝突、合体によって励起する。そこで銀河団の形成過程、特に銀河団の内部構造と成長過程の詳細な関係を調べた。そこで我々はまず CLASH 銀河団サンプルについて、それぞれの銀河団の半径、質量、温度を調べた。半径と質量は重力レンズ観測で、温度は X線観測で得られたものである。そしてこれらのデータを 3 次元対数空間にプロットしたところ、非常に薄い平面状に分布することを見出した。さらに宇宙論的なシミュレーションでもこの平面の存在を確認した。銀河団は成長する過程で、温度が上昇し、質量と半径が増加するが、それは銀河団のこの平面上の移動で表されることもシミュレーションは示している。またこの平面は銀河団中の AGN フィードバックなどの効果はほとんど受けない。一方、平面の向きはこれまでの多くの研究で仮定されてきたビリアル平衡が予測するものと有意にずれている。我々は解析的な similarity solution でこの平面の向きのずれを説明することに成功した。それによると、このずれは銀河団は単純なビリアル平衡になっていないためであり、外から連続的に物質が落下する効果を取り入れないと構造を正しく議論できないことを示している。また平面上の銀河団の移動方向は宇宙の初期ゆらぎを反映していることもわかった。この研究で見出された「連続的な物質の落下」が衝撃波や乱流の発生に寄与していることが予想される。また得られたスケール則を理論的に解釈することで、銀河団内での AGN などによる加熱効果はこれまで考えられていた以上に強いことを明らかにした。これは AGN からの宇宙線供給の重要性を示す。

(2) 銀河団中心の AGN

銀河団での宇宙線供給源の一つである AGN と、銀河団ガス内での乱流との関係についての研究を行った。乱流は直接宇宙線を加速するのみならず、活動銀河核 (AGN) で生成された宇宙線を銀河団内に広くさせ、銀河団中心領域(コア)を加熱する一方、AGN の活動にも影響を与える。そこでコアが定常であるという仮定をせずに、乱流が存在する銀河団コア中の AGN の振る舞いについて数値シミュレーションで調べた。乱流は AGN 起源ではなく、銀河団が成長する過程で発生するものと考えた。この計算の結果、AGN が間欠的にバーストすることがわかった。つまり大部分の期間は AGN の活動は弱く、乱流がコアの外部から内部に向かって熱を運ぶことでコアを準定常状態を保つ、しかし放射冷却が乱流による加熱をやや上回るため、次第に冷却に伴う AGN へのガス流入量が増加し、最終的に AGN はバーストする。

宇宙線を供給する源となる AGN へのガス供給についても研究を行った。AGN が活動するためには、その中心にある超巨大ブラックホールに燃料となるガスが落下する必要がある。従来銀河団に充填する高温ガスがそのまま落下すると考えられていたが、本研究では最近観測的に見つかりつつある銀河団中心の冷たいガスが燃料となっている可能性について考察し、以下のようなことがわかった。まず、冷たいガスは高温ガスの放射冷却によって形成、蓄積され、燃料タンクのような働きをする。さらに冷たいガスの一部はブラックホール周辺まで落下した後、核周円盤を形成する。核周円盤はブラックホールにガスを供給するが、その割合を時間平均としてはほぼ一定とする調整弁の役割を果たす。以上の効果により、AGN の活動は安定し、結果として銀河団に安定に宇宙線を供給する。

(3) 銀河系内宇宙線加速天体との比較

銀河団での宇宙線加速と比較するため、観測が容易な銀河系内の天体での宇宙線加速について調べた。超新星残骸が加速している宇宙線のうち、低エネルギーの MeV の宇宙線はガンマ線を放出しないのでその存在がよくわかっていなかった。一方、超新星残骸はしばしば分子雲と衝突する。そこで我々は、超新星残骸から分子雲内に MeV 宇宙線が流出し、そこで鉄原子と相互作用をして X 線中性鉄輝線を生成するという理論モデルを構築した。このモデルに従って鉄輝線強度を予想したところ、既存の観測をよく説明できることがわかった。銀河団での宇宙線は比較的低エネルギーのものが大部分と考えられ、分子ガスが存在する銀河団中心では同様に鉄輝線を生成する可能性があることがわかった。

また星間ガスの電離状態に影響を与えると考えられる宇宙線の伝搬についての研究も行った。そこで新しい観測手段として注目されている中性鉄輝線と、電波によるガスの電離率の観測、さらにはガンマ線の観測を組み合わせることで、低~高エネルギーの宇宙線の分子雲への浸透過程を調べることができることを示した。具体的には移流拡散方程式を用いて各エネルギーの宇宙線がどのくらい分子雲に浸透できるかを見積もり、分子雲が中性鉄輝線、電離率、ガンマ線とどのように観測されるかを予想した。

銀河系内に供給されている宇宙線陽子の多くは銀河系の中にある超新星残骸に起源があるとされている。しかし低いエネルギー (<TeV) の宇宙線についてその証拠があるものの、高いエネルギー (~PeV) の宇宙線については確かではない。そこでそもそも超新星残骸が PeV の宇宙線陽子を加速しているのかどうかを明らかにするために、銀河系内の超新星残骸 G106.3+2.7 のすざく衛星の X 線データを解析した。その結果 X 線は超新星残骸ではなく、近傍のパルサーに起源をもつ宇宙線電子が放射していることがわかった。ただしこの結果は G106.3+2.7 から放射されているガンマ線が PeV 宇宙線陽子起源である可能性を否定するものではない。さらに新しい宇宙線加速源として注目されているガンマ線連星の研究も行い、連星の活動が時間的に大きく変化することを明らかにした。

(4) 銀河団の電波観測

シンクロトロン電波放射は宇宙線から発せられるので、電波観測をすることで銀河団内の宇宙線の性質を明らかにすることができる。そこで衝突銀河団 CIZA J1358.9-4750 の、宇宙線が加速していると思われる衝撃波領域を ATCA 電波望遠鏡で観測したところ、電波放射は観測されなかった。このことから銀河団中の磁場と宇宙線量に強い制限を与えた。

ペルセウス座銀河団の中心にある AGN を ALMA 電波望遠鏡で観測し、ブラックホールの周囲に巨大な分子ガス円盤が存在していることを明らかにした。またこの円盤を通じてブラックホールにガスが供給されていることや、円盤の回転速度からブラックホールの質量を推定することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Fujita Yutaka, Nobukawa Kumiko K., Sano Hidetoshi	4. 巻 908
2. 論文標題 Intrusion of MeV?TeV Cosmic Rays into Molecular Clouds Studied by Ionization, the Neutral Iron Line, and Gamma Rays	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 136 ~ 136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/abce62	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 Fujita Yutaka, Nagai Hiroshi, Akahori Takuya, Kawachi Akiko, Okazaki Atsuo T	4. 巻 72
2. 論文標題 ALMA observations of PSR B1259?63/LS 2883 in an inactive period: Variable circumstellar disk?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Publications of the Astronomical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 L9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psaa067	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 Fujita Yutaka, Cen Renyue, Zhuravleva Irina	4. 巻 494
2. 論文標題 Non-steady heating of cool cores of galaxy clusters by ubiquitous turbulence and AGN	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 5507 ~ 5519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/staa1087	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 Fujita Yutaka, Aung Han	4. 巻 875
2. 論文標題 Halo Concentrations and the New Baseline X-Ray Luminosity?Temperature and Mass Relations of Galaxy Clusters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 26 ~ 26
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab0e02	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 Makino Ken, Fujita Yutaka, Nobukawa Kumiko K, Matsumoto Hironori, Ohira Yutaka	4. 巻 71
2. 論文標題 Interaction between molecular clouds and MeV?TeV cosmic-ray protons escaped from supernova remnants	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 78
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz058	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 Nobukawa Kumiko K, Hirayama Arisa, Shimaguchi Aika, Fujita Yutaka, Nobukawa Masayoshi, Yamauchi Shigeo	4. 巻 71
2. 論文標題 Neutral iron line in the supernova remnant IC?443 and implications for MeV cosmic rays	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 115
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz099	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 Nagai H., Onishi K., Kawakatu N., Fujita Y., Kino M., Fukazawa Y., Lim J., Forman W., Vrtilik J., Nakanishi K., Noda H., Asada K., Wajima K., Ohyama Y., David L., Daikuhara K.	4. 巻 883
2. 論文標題 The ALMA Discovery of the Rotating Disk and Fast Outflow of Cold Molecular Gas in NGC 1275	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 193 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab3e6e	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 Fujita Yutaka, Kawachi Akiko, Akahori Takuya, Nagai Hiroshi, Yamaguchi Masaki	4. 巻 71
2. 論文標題 First detection of PSR B1259?63/LS 2883 in the millimeter and submillimeter wavelengths with ALMA	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 L3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psz085	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 Umetsu Keiichi, Sereno Mauro, Lieu Maggie, Miyatake Hironao, Medezinski Elinor, Nishizawa Atsushi J., Giles Paul, Gastaldello Fabio, McCarthy Ian G., Kilbinger Martin, Birkinshaw Mark, Ettori Stefano, Okabe Nobuhiro, Chiu I-Non, Coupon Jean, Eckert Dominique, Fujita Yutaka, et al.	4. 巻 890
2. 論文標題 Weak-lensing Analysis of X-Ray-selected XXL Galaxy Groups and Clusters with Subaru HSC Data	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 148 ~ 148
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/ab6bca	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 Sereno Mauro, Umetsu Keiichi, Ettori Stefano, Eckert Dominique, Gastaldello Fabio, Giles Paul, Lieu Maggie, Maughan Ben, Okabe Nobuhiro, Birkinshaw Mark, Chiu I-Non, Fujita Yutaka, Miyazaki Satoshi, Rapetti David, Koulouridis Elias, Pierre Marguerite	4. 巻 492
2. 論文標題 XXL Survey groups and clusters in the Hyper Suprime-Cam Survey. Scaling relations between X-ray properties and weak lensing mass	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 4528 ~ 4545
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/stz3425	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 Fujita Yutaka, Umetsu Keiichi, Rasia Elena, Meneghetti Massimo, Donahue Megan, Medezinski Elinor, Okabe Nobuhiro, Postman Marc	4. 巻 857
2. 論文標題 Discovery of a New Fundamental Plane Dictating Galaxy Cluster Evolution from Gravitational Lensing	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 118 ~ 118
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/1538-4357/aab8fd	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 Akahori Takuya, Kato Yuichi, Nakazawa Kazuhiro, Ozawa Takeaki, Gu Liyi, Takizawa Motokazu, Fujita Yutaka, Nakanishi Hiroyuki, Okabe Nobuhiro, Makishima Kazuo	4. 巻 70
2. 論文標題 ATCA 16 cm observation of CIZA J1358.9-4750: Implication of merger stage and constraint on non-thermal properties	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 53 ~ 53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/pasj/psy042	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 Fujita Yutaka, Umetsu Keiichi, Etori Stefano, Rasia Elena, Okabe Nobuhiro, Meneghetti Massimo	4. 巻 863
2. 論文標題 A New Interpretation of the Mass-Temperature Relation and Mass Calibration of Galaxy Clusters Based on the Fundamental Plane	5. 発行年 2018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/aacf05	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 Shimoda Jiro, Akahori Takuya, Lazarian A, Inoue Tsuyoshi, Fujita Yutaka	4. 巻 480
2. 論文標題 Discovery of Kolmogorov-like magnetic energy spectrum in Tycho 's supernova remnant by two-point correlations of synchrotron intensity	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 2200 ~ 2205
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/mnras/sty2034	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 Fujita Yutaka, Donahue Megan, Etori Stefano, Umetsu Keiichi, Rasia Elena, Meneghetti Massimo, Medezinski Elinor, Okabe Nobuhiro, Postman Marc	4. 巻 7
2. 論文標題 Halo Concentrations and the Fundamental Plane of Galaxy Clusters	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Galaxies	6. 最初と最後の頁 8 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/galaxies7010008	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

〔学会発表〕 計30件 (うち招待講演 13件 / うち国際学会 12件)

1. 発表者名 藤田裕, 永井洋, 赤堀卓也, 河内明子, 岡崎敦男
2. 発表標題 ALMA による静穏期のガンマ線連星 PSR B1259-63/LS 2883 の観測
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 藤田裕, 信川久実子, 佐野栄俊
2. 発表標題 電離率, 中性鉄輝線, ガンマ線を使った宇宙線の分子雲への浸透の解明
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田裕, 信川久実子, 佐野栄俊
2. 発表標題 電離率, 中性鉄輝線, ガンマ線を使った宇宙線の分子雲への浸透の解明
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 藤田裕
2. 発表標題 XRISM による超新星残骸, 銀河団の観測
3. 学会等名 日本天文学会2021年春季年会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤田裕, 信川久実子, 佐野栄俊
2. 発表標題 電離率, 中性鉄輝線, ガンマ線を使った宇宙線の分子雲への浸透の解明
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 藤田裕, 信川久実子, 佐野栄俊
2. 発表標題 電離率, 中性鉄輝線, ガンマ線を使った宇宙線の分子雲への浸透の解明
3. 学会等名 低エネルギー宇宙線 Workshop 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Y. Fujita, K. K. Nobukawa, H. Sano
2. 発表標題 Intrusion of Cosmic-Rays into Molecular Clouds Studied by Ionization, the Neutral Iron Line, and Gamma-Rays
3. 学会等名 Connecting high-energy astroparticle physics for origins of cosmic rays and future perspective (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Y. Fujita
2. 発表標題 Diffuse Extragalactic Sources
3. 学会等名 XRISM Team Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Fujita
2. 発表標題 High Energy Phenomena in Galaxy Clusters
3. 学会等名 Workshop to bring together experts on High Energy Astrophysics from Japan and Israel (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Fujita
2. 発表標題 Fundamental Plane and Scaling relations of Galaxy Clusters
3. 学会等名 Matera OSCURA (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Fujita
2. 発表標題 Fundamental Plane and Scaling relations of Galaxy Clusters
3. 学会等名 Galaxy Cluster Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Fujita
2. 発表標題 Diffuse Extragalactic Sources
3. 学会等名 XRISM Science Team Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田裕 河内明子 赤堀卓也 永井洋 山口正輝
2. 発表標題 ガンマ線連星 PSR B1259-63/LS 2883 の ALMA による初検出
3. 学会等名 日本天文学会 2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田裕 Renyue Cen Irina Zhuravleva
2. 発表標題 ダークハローの内部構造によるstellar mass-halo mass relation の分散
3. 学会等名 日本天文学会 2020年春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 ペルセウス座銀河団のAGN 活動
3. 学会等名 第1回京大・阪大ブラックホール勉強会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 銀河団での AGN フィードバックと XRISM 時代の展望
3. 学会等名 AGN核周領域とその関連研究
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 ガンマ線連星からの電波放射と超新星残骸の中性鉄輝線放射とXRISM衛星の現状
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 銀河団からの硬X線放射
3. 学会等名 高感度・広帯域X線天文衛星FORCEで探る高エネルギー宇宙（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 The New Fundamental Plane Dictating Galaxy Cluster Evolution
3. 学会等名 WHIM and Cluster Outskirts: Lost and Found Baryons in the Local Universe（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 Newborn Jets in NGC 1275
3. 学会等名 Jet and Shock Breakouts in Cosmic Transients（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 About cluster formation and matter accretion on outskirts
3. 学会等名 Cosmic Puzzles: From the LSS to LSS（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 銀河団の進化を支配する Fundamental Plane
3. 学会等名 高エネルギー宇宙物理学研究会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 The New Fundamental Plane Dictating Galaxy Cluster Evolution
3. 学会等名 The 2nd HSC-X Cluster Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 銀河団の質量-温度関係の Fundamental Plane を用いた新解釈
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 藤田裕
2. 発表標題 The New Fundamental Plane Dictating Galaxy Cluster Evolution
3. 学会等名 IAU Symposium 341: PanModel2018 : Challenges in Panchromatic Galaxy Modelling with Next Generation Facilities (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 銀河団のfundamental planeと超新星残骸のMeV宇宙線
3. 学会等名 高エネルギー天体現象の多様性(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 Turbulence and cosmic-ray acceleration in galaxy clusters
3. 学会等名 XRISM Science Team meeting(招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 The New Fundamental Plane Dictating Galaxy Cluster Evolution
3. 学会等名 第31回 理論懇シンポジウム「宇宙物理の標準理論：未来へ向けての再考」
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 XRISMによる観測の展望、高エネルギー放射
3. 学会等名 3C 84小研究会(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田裕
2. 発表標題 銀河団の基準 LX-T, LX-M 関係の再考
3. 学会等名 日本天文学会春季年会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

藤田裕のホームページ https://www.comp.tmu.ac.jp/tap-phys/fujita/index.html 藤田 裕のホームページ http://astro-osaka.jp/fujita/index.html Yutaka Fujita's Home Page http://astro-osaka.jp/fujita/index_e.html 宇宙最大の天体、銀河団の成長の基本法則を発見！ http://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2018/20180424_1 Uncovering the secret law http://resou.osaka-u.ac.jp/en/research/2018/20180424_1

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			
米国	Princeton University	University of Chicago		
米国	Yale University	Harvard-Smithsonian Center	Princeton University	他1機関
中国	The University of Hong Kong			
英国	University of Sussex	Liverpool John Moores University	University of Bristol	
イタリア	INAF-Osservatorio, Bologna	INAF-IASF Milano		

共同研究相手国	相手方研究機関			
スペイン	European Space Astronomy Centre			
台湾	Academia Sinica			
イタリア	Osservatorio Astronomico di Trieste	Osservatorio Astronomico di Bologna		
米国	Michigan State University	Princeton University	Space Telescope Science Institute	他1機関