

令和元年6月8日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05295

研究課題名(和文) 精密X線分光による銀河団ガスの速度構造の研究

研究課題名(英文) X-ray spectroscopic study of velocity structures in the intracluster medium

研究代表者

太田 直美(Ota, Naomi)

奈良女子大学・自然科学系・准教授

研究者番号：40391891

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：銀河団は宇宙最大の天体であり、その中に存在する複雑なガス運動に由来する圧力が、ダークマターの質量を推定する上で最大の不定性の要因になっている。ひとみ衛星によりペルセウス座銀河団中心部のガス乱流の直接測定に成功し、それに由来する圧力が小さいことを示した。将来の本格的なX線詳細分光に備えて模擬観測を実施し、ガス運動の場所ごとのばらつきや、ダークマター質量をいかに正確に求められるかを検討した。また、すばる望遠鏡のサーベイによって新しく見つかった銀河団のX線観測データを系統的に解析し、天体の形態や温度と光度の関係およびその進化を調査し、既存の単純な理論モデルでは観測結果を説明できないことを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

銀河団の質量を正確に測ることは、未知のダークマターやダークエネルギーに満ちた宇宙そのものの進化を理解することにつながる。その不定性のもととなる銀河団中のガスの乱流運動を測ることはこれまで難しかったが、ひとみ衛星により初めて直接測定を実現した。また将来のより本格的なX線精密分光測定に備え、最新のシミュレーションを用いて質量推定の方法を詳細に検討した。また、すばる望遠鏡によって新しく見つかった様々な距離にある銀河団をX線で追観測し、その性質を明らかにした。以上により、今後の大規模な銀河団全天サーベイ観測や宇宙論研究への応用に役に立つ重要な知見を得た。

研究成果の概要(英文)：Clusters of galaxies are the largest objects in the universe, and the pressure due to complex gas motions inside them are thought to cause uncertainties in estimating the mass of dark matter. We succeeded in measuring the turbulent motion at the center of the Perseus cluster and showed that the pressure due to the gas motion is small. In preparation for the future high-resolution spectroscopy, we performed simulations to examine the variety of gas motions and the accuracy of mass measurement in detail. Furthermore, we systematically studied X-ray properties of clusters that were newly discovered by the Subaru telescope to find that the simple theoretical model cannot explain the observed relationship between the gas temperature and luminosity and the evolution.

研究分野：X線宇宙物理学

キーワード：X線天文学 宇宙物理学 銀河団 高温プラズマ 宇宙構造形成

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

銀河団は自己重力系にある宇宙最大の天体であり、その形成進化はダークマターやダークエネルギーに満ちた宇宙そのものの進化と直接結びついている。そのため、銀河団の質量を正確に測り質量関数を構築すれば、宇宙マイクロ波背景放射の観測とは独立に宇宙論モデルに制限を与えることができるかと期待される(Allen et al. 2011)。しかし、これを実現するには銀河団中の複雑なガス運動に起因する質量測定の不定性を取り除いておく必要がある。通常、X線観測から銀河団のダークマター質量を求めるとき、ガスの熱的圧力と重力が釣り合った静水圧平衡状態にあるとして扱う。一方、数値シミュレーションからは、銀河団の形成過程で経験する天体同士の衝突合体により、バルク運動や乱流などの複雑な運動が生じ、非熱的圧力が無視できないことが予言されている。実際、最近のX線観測から高速のガス運動の兆候がとらえられつつある(Ota 2012)。しかし、従来の検出器では分解能が不足しているためさらなる検証が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、(1)超高分解能X線マイクロカロリメータを用いて銀河団内部のガスの速度構造を精密に測定し、銀河団ガスの運動状態と形態の相関を明らかにすることである。さらに、(2)銀河団の質量とX線観測量の間の相関関係(スケール則)における、ガス運動や超高温ガスの存在などに起因する銀河団質量の系統誤差を評価し、将来の精密宇宙論に備えて高精度の銀河団質量推定法の確立につなげることを目指している。

### 3. 研究の方法

(1) ガス運動はX線スペクトルに現れる鉄輝線のドップラーシフトから測定できる。ひとみ衛星に搭載されたX線マイクロカロリメータは、X線 CCD 検出器より約 30 倍高い 5eV という優れたエネルギー分解能を持つ。これを用いて、近傍銀河団中心部の詳細分光からガス運動を直接測定し、静水圧平衡の仮定を検証する。また、将来のより本格的な分光観測に備え、最先端の宇宙論シミュレーションを利用した模擬観測から、ガス運動速度のばらつきや質量推定への影響について定量的に検討する。

(2) (1)の方法が使えるのは、比較的近傍の明るい天体に限られる。そのため、様々な距離の銀河団について質量を求めるには、X線光度や温度などの観測量と質量のスケール則に頼る必要がある。そこで、すばる望遠鏡 Hyper Supreme-Cam による大規模な戦略性観測プログラム(HSC-SSP)で見つかった銀河団の系統的なX線データ解析から、スケール則や銀河団形態との関係を調査する。さらに、スケール則の分散の起源の一つと考えるガスのショック加熱現象を探るため、銀河団衝突合体が顕著な天体に注目して詳細なガス分布の解析を行う。

### 4. 研究成果

(1)「ひとみ」衛星のX線マイクロカロリメータで取得した、ペルセウス座銀河団のX線分光データの解析を進めた。銀河団中心のガス乱流の直接測定に初めて成功し、活動銀河核の付近であってもガス乱流速度が小さいことが明らかになった(Hitomi Collaboration 2017)。さらに、広域の速度構造を決定するため、ペルセウス座銀河団内の複数領域についてガス運動を計測した。その結果、天体中心から 100 キロパーセク以内では、速度勾配は 100km/s 程度であり、非熱的圧力の影響は 10%未満であるという制限を得た(Hitomi collaboration 2018a)。また、分光解析に用いる原子核データベースの比較から、その不定性が無視できないことも浮き彫りになった。そのため、主要な元素のイオン化平衡の計算値の比較などを行い、今後の本格的な詳細分光に向けて改善すべき課題をまとめた(Hitomi collaboration 2018d)。ひとみ衛星は、残念ながら不具合により短期間で運用を断念せざるを得なかったが、X線マイクロカロリメータが銀河団進化の解明に威力を発揮することは実験的に示された。

そこで、ひとみ衛星代替機 XRISM を念頭に、銀河団ガス乱流マッピングの模擬観測を実施した。ここでは、最先端の宇宙論的シミュレーションを利用して、規則型および不規則型という異なる 2 種類の形態を持つ銀河団についてX線マイクロカロリメータの性能を仮定した分光スペクトルを作成し、ガス運動測定と銀河団質量推定方法の検討を行った(Ota et al. 2018)。その結果、規則型銀河団であっても、ガス運動の方位角依存性が無視できず、乱流速度を過小評価する傾向があることを指摘した。一方、XRISMによってガス乱流とバルク運動両方をマッピング観測することにより、銀河団質量は 5%の精度で正しく再現できる可能性も示した(図 1)。

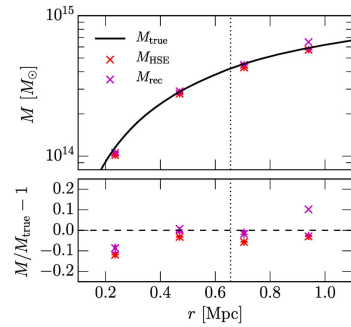
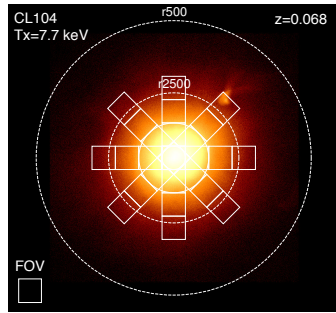


図1 (左) 近傍の規則型銀河団のXRISM 模擬観測 (Ota et al. 2018)。X線イメージにX線マイクロカロリメータの視野(FOV)を実線のボックスで示した。(右) 銀河団質量の再現性。実線が真値、赤と紫の×印はそれぞれ静水圧平衡質量、ガス運動による非熱的圧力を考慮した場合の質量。

## (2) すばる望遠鏡HSC-SSP

サーベイ領域にある可視銀河団について、系統的なX線解析から銀河団スケール則やガスの力学状態の調査を行った。ここで、可視銀河団カタログに含まれる約二千天体のうち、質量が大きく(可視光リッチネスが20以上)かつXMM ニュートン衛星によるX線観測データが入手できる計37個の低赤方偏移銀河団を対象とした。X線イメージからガスの力学状態の指標となる重心シフトを、X線スペクトルからガスの温度と光度を求めた。その結果、過去に電波やX線観測に基づいて構築された銀河団サンプルに比べて、本可視光サンプルは重心シフトが大きく、不規則な形態の天体をより多く含む傾向が示された。このことは、可視光銀河団のサンプル選択は、クールコアなどのガスの内部構造に影響されにくいことを意味する。また、ガス温度と光度の間の相関を調べたところ、データは既知のX線銀河団の分散の範囲内であり、べき乗関数モデルのべきは自己相似モデルの予言に近いことがわかった (Ota et al. 投稿中)。

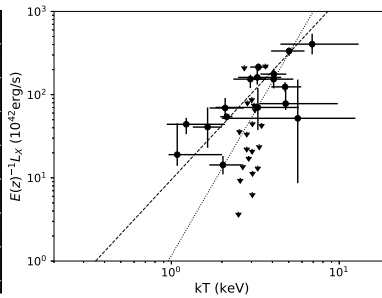
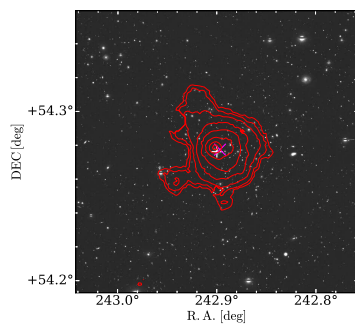


図2 すばる望遠鏡 HSC-SSP 領域の可視銀河団の系統的X線解析。(左) 可視銀河団の例。すばる I バンド画像にX線輝度等高線(赤線)を重ねたもの。(右) 光度-温度関係。●と▼は、それぞれX線光子数が千以上の17天体とそれ未満の20天体。実線と点線は最適な巾関数モデル。

これと平行して、過去に観測例がほとんどない高赤方偏移かつ大質量をもつ11つの可視銀河団をXMM-Newton衛星で新たに観測した。全ての天体から銀河団由来の空間的に広がったX線放射を検出することに成功した。さらに、前述の低赤方偏移銀河団サンプルと比較すると、自己相似モデルが予言するような顕著な赤方偏移進化は見られないことがわかった。同時に高赤方偏移銀河団は光度温度関係において大きな分散を示すことも確かめられた。このことは、従来の単純な理論モデルでは現実の銀河団の構造進化を説明できないことを意味し、今後サンプル数を増やしてこの原因を解明する必要がある。以上の成果について国際会議および学会で口頭発表した。

また、スケール則の分散の起源の一つであると考えられる、ショック加熱現象を探るため、すざく衛星を用いて代表的な衝突銀河団に注目したX線解析を実施した。まず、A2744銀河団について、銀河間中高温物質が生成される典型的な半径といわれる降着半径に注目し、その領域のX線分光測定を初めて実現した。赤方偏移した酸素輝線放射から、ミッシングバリオンの主成分と予言されるWHIMの存在を支持する観測結果を得た。これに基づいて、将来のAthena衛星によって実現が期待されるより高精度のX線分光観測のシミュレーションも行い、国際会議および投稿論文を通じて結果を公表した。次に、過去に広帯域X線観測から超高温ガスの存在を見つけたA2163銀河団について、方位角ごとに分けてガスの温度や密度の空間構造を調べたところ、衝突合体の痕跡と考えられる大規模なショック構造を3カ所同定した。衝突のマッハ数は1.5~3と見積もられ、この結果について査読付き論文を出版した (Thölken et al. 2018)。

## <引用文献>

- ① S. W. Allen, A. E. Evrard, A. B. Mantz, “Cosmological Parameters from Observations of Galaxy Clusters”, ARAAS, 49, pp. 409-470
- ② N. Ota, “X-ray spectroscopy of clusters of galaxies”, RAA, 12, pp. 973-994

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計21件)

- ① I. Mitsuishi, Y. Babazaki, N. Ota, S. Sasaki, H. Böhringer, G. Chon, G. W. Pratt, “High entropy and evidence for a merger in the low surface brightness cluster Abell 2399”, 査読有, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 70, id. 112 (2018)

- ② S. Yamada, N. Ota (他 25 名), “Super DIOS: Future X-ray Spectroscopic Mission to Search for Dark Baryons”, *Journal of Low Temperature Physics*, 査読有, 193, 1016-1023 (2018)
- ③ S. Thölken, T. H. Reiprich, M. W. Sommer, N. Ota, “Discovery of large scale shock fronts correlated with the radio halo and radio relic in the A2163 galaxy cluster”, *Astron. & Astrophys.*, 査読有, 619, id.A68 (2018)
- ④ S. Ueda, T. Kitayama, E. Komatsu, T. Akamatsu, D. Iono, T. Izumi, R. Kawabe, K. Kohno, H. Matsuo, N. Ota, Y. Suto, S. Takakuwa, M. Takizawa, T. Tsutsumi, K. Yoshikawa, “A Cool Core Disturbed: Observational Evidence for the Coexistence of Subsonic Sloshing Gas and Stripped Shock-heated Gas around the Core of RX J1347.5-1145”, *Astrophys. J.*, 査読有, 866, id.48 (2018)
- ⑤ N. Ota, D. Nagai, & E. T. Lau, “Constraining hydrostatic mass bias of galaxy clusters with high-resolution X-ray spectroscopy”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70, id. 51 (2018)
- ⑥ Y. Babazaki, I. Mitsuishi, N. Ota, S. Sasaki, H. Böhringer, G. Chon, G. W. Pratt, H. Matsumoto, “Suzaku observations of low surface brightness cluster Abell 1631”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70, 46 (2018)
- ⑦ T. Takahashi, N. Ota (他 268 名), “Hitomi (Astro-H) X-ray Astronomy Satellite”, *Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems*, 査読有, 4, id.021402 (2018)
- ⑧ Hitomi collaboration, N. Ota (他 193 名), “Atomic data and spectral modeling constraints from high-resolution X-ray observations of the Perseus cluster with Hitomi”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70, id. 12 (2018d)
- ⑨ Hitomi collaboration, N. Ota (他 193 名), “Temperature structure in the Perseus cluster core observed with Hitomi”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70, id. 11 (2018c)
- ⑩ Hitomi collaboration, N. Ota (他 193 名), “Measurements of resonant scattering in the Perseus Cluster core with Hitomi SXS”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70, id. 10 (2018b)
- ⑪ Hitomi collaboration, N. Ota\* (他 196 名), “Atmospheric gas dynamics in the Perseus cluster observed with Hitomi”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70, id. 9 (2018a) \*責任著者
- ⑫ S. Miyazaki, M. Oguri, T. Hamana, M. Shirasaki, M. Koike, Y. Komiyama, K. Umetsu, Y. Utsumi, N. Okabe, S. More, E. Medezinski, Y.-T. Lin, H. Miyatake, H. Murayama, N. Ota, I. Mitsuishi, “A large sample of shear-selected clusters from the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program S16A Wide field mass maps”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70S, id. S27 (2018)
- ⑬ K. Miyaoka, N. Ota (他 35 名), “Multiwavelength study of X-ray luminous clusters in the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program S16A field”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 70S, id. S22 (2018)
- ⑭ M. Itahana, M. Takizawa, H. Akamatsu, R. J. van Weeren, H. Kawahara, Y. Fukazawa, J. S. Kaastra, K. Nakazawa, T. Takaya, N. Ota, H. J. A. Röttgering, J. Vink, F. Zandanel, “Suzaku and Chandra observations of the galaxy cluster RXC J1053.7+5453 with a radio relic”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 69, id. 88 (2017)
- ⑮ Hitomi collaboration, N. Ota (他 192 名), “Solar abundance ratios of the iron-peak elements in the Perseus cluster”, *Nature*, 査読有, 551, 478 (2017)
- ⑯ S. Hattori, N. Ota, Y.-Y. Zhang, H. Akamatsu, A. Finoguenov, “Search for the warm-hot intergalactic medium around A 2744 using Suzaku”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 69, id. 39 (2017)
- ⑰ H. Akamatsu, M. Mizuno, N. Ota, Y.-Y. Zhang, R. J. van Weeren, H. Kawahara, Y. Fukazawa, J. S. Kaastra, M. Kawaharada, K. Nakazawa, T. Ohashi, H. J. A. Röttgering, M. Takizawa, J. Vink, F. Zandanel, “Suzaku observations of the merging galaxy cluster Abell 2255: The northeast radio relic”, *Astron. Astrophys.*, 査読有, 600, id. A100 (2017)
- ⑱ Hitomi collaboration (218 authors including N. Ota), “Hitomi Constraints on the 3.5 keV Line in the Perseus Galaxy Cluster”, *Astrophys. J.*, 査読有, 837, id. L15 (2017)
- ⑲ T. Kitayama, S. Ueda, S. Takakuwa, T. Tsutsumi, E. Komatsu, A. Takuya, D. Iono, T. Izumi, R. Kawabe, K. Kohno, H. Matsuo, N. Ota, Y. Suto, M. Takizawa, K. Yoshikawa, “The Sunyaev-Zel’dovich effect at 5”: RX J1347.5-1145 imaged by ALMA”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 68, id. 88 (2016)

- ⑳ Hitomi collaboration, N. Ota (他 214 名), “The quiescent intracluster medium in the core of the Perseus cluster”, *Nature*, 査読有, 535, 117 (2016)
- ㉑ N. Ota & H. Yoshida, “Search for gas bulk motions in eight nearby clusters of galaxies with Suzaku”, *Publ. Astron. Soc. Japan*, 査読有, 68, id. S19 (2016)

[学会発表] (計20件)

- ① N. Ota, “X-ray observations of optically-selected galaxy clusters in the Subaru HSC-SSP field”, *Panchromatic Panoramic Studies of Galaxy Clusters: from HSC to PFS and ULTIMATE*, ASIAA, Taiwan, 2019 March
- ② 太田直美, 三石郁之, 赤松弘規, 一戸悠人, 上田周太郎, 大栗真宗, 大谷花絵, 岡部信広, 田中桂悟, 辻歩美, 浜名崇, 宮崎聡, 吉田篤史, 他HSC銀河団コラボレーション, “HSC-SSPサーベイ領域にある可視銀河団のX線フォローアップ計画(2)”, 日本天文学会春季年会, 法政大学, 2019年3月
- ③ 吉田篤史, 三石郁之, 太田直美, 宮崎聡, 大栗真宗, 浜名崇, 岡部信広, 赤松弘規, 他HSC銀河団コラボレーション, “HSC-SSPサーベイ領域 Weak Lensing銀河団のX線フォローアップ計画(4)”, 日本天文学会春季年会, 法政大学, 2019年3月
- ④ 田中桂悟, 辻歩美, 一戸悠人, 上田周太郎, 江上英一, 大栗真宗, 太田直美, 岡部信広, 他“XMM-Newton衛星による重力レンズ天体 Eye of Horus周辺の銀河団ガスの重力質量分布の測定”, 日本天文学会春季年会, 法政大学, 2019年3月
- ⑤ 大谷花絵, 太田直美, 岡部信広, 上田周太郎, “サブハローのガス質量比測定を通じたA2319銀河団の質量構造の研究”, 日本天文学会春季年会, 法政大学, 2019年3月
- ⑥ 吉田篤史, 三石郁之, 太田直美, 宮崎聡, 大栗真宗, 浜名崇, 岡部信広, 赤松弘規, 他, “HSC-SSPサーベイ領域Weak Lensing銀河団のX線フォローアップ計画(3)”, 日本天文学会秋季年会, 兵庫県立大学, 2018年9月
- ⑦ 大谷花絵, 太田直美, 岡部信広, 一戸悠人, 上田周太郎, 宮岡敬太, “近傍銀河団A2319内に存在するサブハローのガス質量比の測定”, 日本天文学会春季年会, 千葉大学, 2018年3月
- ⑧ 馬場崎康敬, 三石郁之, 太田直美, 佐々木伸, H. Böhringer, G. Chon, G. W. Pratt, 松本浩典, “X線/可視光を用いた低表面輝度銀河団の力学状態の研究”, 日本天文学会春季年会, 千葉大学, 2018年3月
- ⑨ 宮崎聡, 大栗真宗, 浜名崇, 白崎正人, 小池美知太郎, 梅津敬一, 内海洋輔, 岡部信広, Surhud More, Elinor Medezinski, Yen-Ting Lin, 宮武広直, 村山斉, 太田直美, 三石郁之, “HSCによる弱重力レンズ効果を利用した銀河団探査”, 日本天文学会春季年会, 千葉大学, 2018年3月
- ⑩ 渡邊翔子, 太田直美, 三石郁之, 大栗真宗, 岡部信広, 赤松弘規, 一戸悠人, 上田周太郎, 大谷花絵, 馬場崎康敬, 他, “XMM-Newton衛星による5つの高赤方偏移HSC銀河団の観測”, 日本天文学会春季年会, 千葉大学, 2018年3月
- ⑪ 三石郁之, 吉田篤史, 太田直美, 宮崎聡, 大栗真宗, 浜名崇, 岡部信広, 赤松弘規, 一戸悠人, 上田周太郎, 大谷花絵, 馬場崎康敬, 他 HSC 銀河団コラボレーション, “HSC-SSPサーベイ領域 Weak Lensing 銀河団のX線フォローアップ計画(2)”, 日本天文学会春季年会, 千葉大学, 2018年3月
- ⑫ N. Ota, “XARM status and some prospects”, *Preparing the science of galaxy clusters & WHIM with Athena*, Sesto, Italy, 2018 Jan.
- ⑬ 上田周太郎, 一戸悠人, 藤本龍一, 井上翔太, Caroline Kilbourne, 北山哲, Maxim Markevitch, Brian McNamara, 太田直美, Scott Porter, 田村隆幸, 田中桂悟, 他 “「ひとみ」によるペルセウス座銀河団の高温ガスの速度場の測定”, 日本天文学会秋季年会, 北海道大学, 2017年9月
- ⑭ 板花まどか, 滝沢元和, 赤松弘規, R. J. van Weeren, 河原創, 深沢泰司, J. S. Kaastra, 中澤知洋, 大橋隆哉, 太田直美, H. J. A. Röttgering, J. Vink, F. Zandanel, “多波長観測から迫る銀河団RXC J1053.7+5453の衝突過程と粒子加速”, 日本天文学会秋季年会, 北海道大学, 2017年9月
- ⑮ 太田直美, 三石郁之, 赤松弘規, 一戸悠人, 上田周太郎, 大栗真宗, 大谷花絵, 岡部信広, 馬場崎康敬, 浜名崇, 宮岡敬太, 宮崎聡, 他HSC銀河団コラボレーション, “HSC-SSPサーベイ領域にある可視銀河団のX線フォローアップ計画”, 日本天文学会秋季年会, 北海道大学, 2017年9月
- ⑯ N. Ota, “Suzaku Study of the WHIM and future prospects”, *Whereabouts and Physics of the Roaming Baryons in the Universe*, Sesto, Italy, 2017 Jul.
- ⑰ I. Mitsuishi, N. Ota, H. Akamatsu, Y. Ichinohe, S. Ueda, Y. Babazaki, K. Miyaoka, N. Okabe, M. Oguri, T. Hamana, S. Miyazaki, “X-ray Follow-up Survey in the Hyper Suprime-Cam Subaru Strategic Program Field”, *Early stages of Galaxy Cluster Formation*, Garching Germany, 2017 July

- ⑱ 服部詩穂, 太田直美, 赤松弘規, “すざく衛星を用いた A222/223ブリッジ領域におけるミッシングバリオン探査”, 日本天文学会春季年会, 九州大学, 2017年3月
- ⑲ 北山哲, 上田周太朗, 高桑繁久, 堤貴弘, 小松英一郎, 赤堀卓也, 伊王野大介, 泉拓磨, 川邊良平, 河野孝太郎, 松尾宏, 大栗真宗, 太田直美, 須藤靖, 滝沢元和, 吉川耕司, “ALMA によるスニヤエフ・ゼルドビッチ効果の初観測”, 日本天文学会春季年会, 九州大学, 2017年3月
- ⑳ 板花まどか, 滝沢元和, 赤松弘規, R. van Weeren, 河原創, 深沢泰司, J. Kaastra, 中澤知洋, 大橋隆哉, 太田直美, H. Röttgering, J. Vink, F. Zandanel, “すざく衛星による銀河団 RXC J1053.7+5453の温度測定”, 日本天文学会秋季年会, 愛媛大学, 2016年9月

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

<http://www.phys.nara-wu.ac.jp/~ota/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号 (8桁)：

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。