

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

IXPO: International X-ray POLarimetry Symposium

氏 名：二之湯開登（東京理科大学大学院 創域理工学研究科 先端物理学専攻M2（渡航当時））

渡航先：アメリカ アラバマ州ハンツビル

期 間：2024年9月15～19日

本渡航では、9月15日から19日にかけてアメリカ アラバマ州ハンツビルにて開催されたIXPO: International X-ray POLarimetry Symposiumに参加し、口頭発表を行った。本研究会は、IXPE（Imaging X-Ray Polarimetry Explorer）衛星打ち上げ以降初めて行われたX線偏光観測を主軸とした国際研究会である。本研究会では、IXPEによる様々な観測実績に関する講演と、現在または将来の偏光観測プロジェクトに関する講演も行われた。さらに、IXPEのこれまでの観測実績を基に、Martin Weisskopf氏、Paolo Soffitta氏と並びIXPE teamにRossi Prizeが贈られ、その記念授賞式も合わせて行われた。日本からは玉川徹氏（理研）、高橋弘充氏（広島大）も参加されており、現地では大変お世話になった。

偏光観測の歴史は長く、天文衛星による初めての有意な偏光観測は、まさにWeisskopf氏らによる1976年OSO-8衛星での「かに星雲」の観測である。OSO-8衛星に搭載された偏光計はブラッグ反射を利用して偏光を検出する偏光計であるため、感度がブラック条件を満たす2.6 keVと5.2 keVに限定されていた。その後、高感度で連続帯域での偏光観測は技術的な困難を極め、数十年の時を経て、2010年代にPoGO+気球実験において硬X線帯域でかに星雲やCygnus X-1（Cyg X-1）のような明るい天体の偏光を有意に観測した。そして、華々しく登場したのが、IXPE衛星（2021-）である。IXPE衛星には偏光

X線が光電吸収されたときの光電子の放出方向の異方性を利用して偏光を検出する偏光計（GPD; Gass Pixel Detector）が搭載されており、軟X線帯域で、位置（撮像）、時間、エネルギー、偏光の4つの物理パラメータを測定することができる。このGPDに取り付けられているガス電子増幅フォイルは理研/玉川研究室で開発されたものである。詳細は天文月報2024年4月号IXPE特集（1）を参照されたい。打ち上げから現在までの約2年間で、IXPEは様々な天体において有意な偏光観測を実現し、その成果に対してRossi Prizeが贈られる運びとなった。

今回開催された研究会では、超新星残骸、活動銀河核、中性子星、恒星質量ブラックホール（BH）のIXPEの偏光観測結果に関する講演が行われ、偏光特性からわかること・X線偏光のメカニズムについて様々な議論がなされた。加えて、気球偏光実験XL-Calibur（高橋氏の口頭発表）やXPoSatなど現在またはこれからの偏光観測ミッションに関する講演も行われた。天文学会などの国内の学会でもX線偏光観測に関する講演は行われているが、その数は少ない。そのため、本研究会で世界の研究者らによる偏光に関する研究は新鮮に感じられ、とても興味深かった。また、世界の中での自身の研究の立ち位置を理解するとてもよい機会になった。IXPE teamの方々も多く参加し、IXPEによるここ2年の新しい観測結果が多く講演されたこともあり大変大きな盛り上がりを見せた4日間であった。本研究会において私が行った発表は、IXPEによる恒星質量BH Cyg X-1における観測結果に関するものであり、PASJに投稿されているNinoyu et al. (2024)に基づいている。

BH連星では、伴星からの質量降着により、

BH 周辺に降着流が形成される．これまでの観測により，BH 周囲には数百万度の降着円盤と数億度の高温電子雲コロナが形成されていることがわかってきたが，降着円盤やコロナの幾何構造は議論的となっていた．降着円盤に対するコロナの幾何学的位置によって偏光度・偏光角が異なることが知られており，IXPE で観測した Cyg X-1 の偏光は，コロナが円盤面に平行な方向に分布していることを示唆していた [1]．また，Cyg X-1 のスペクトル状態遷移に伴った偏光度の遷移も観測され，偏光からは状態遷移が BH 周辺のガスの大きさや散乱回数の変化によるものだと考えられている [2]．このように，X 線偏光は BH 周囲の環境を知るための強いツールとして重要な役割を果たす．本研究では，状態遷移のタイムスケールよりもさらに短い，Cyg X-1 で観測される数秒スケールの強度変動に注目して解析を行った．光度曲線から複数の強度変動を抽出し足し合わせることで，統計を上げて強度変動における偏光特性の解析を実現した．その結果，1 s スケールの X 線強度変動に相関して偏光が変動しており，これは BH 近傍の降着円盤内縁が BH に落ち込んでいく現象を見ていると考えている．

聴講いただいた研究者の方に研究手法や解釈について興味を持っていただくことができた．Cyg X-1 をはじめとする BH 連星の時間変動解析に詳しい Michael Nowak 氏には自身の研究手法の根幹に直結する質問をいただいた．Coffee Break などの時間では，IXPE の Cyg X-1 の観測データを解析しておられる Nicole Rodriguez Cavero 氏 (Washington Univ.) と Cyg X-1 や



Rossi Prize 授賞式の様子

Swift J1727.8-1613 の解析に関して情報を共有し，議論できたことがとても大きな収穫であったと感じている．

本研究会は，私にとって初めての国際会議での口頭発表であった．発表では自身の研究を正しくかつ印象に残るように発表することを心掛けた．英語での口頭発表や海外の研究者との交流の難しさと自身の実力不足を痛感したと同時に，英語スキルを伸ばして海外の研究者とより活発に議論していきたいという想いが強まった．本研究会に参加させていただき，よい刺激を受け新たな視点を獲得することができた．最後に，このような貴重な経験をさせていただき，ご支援をいただいた早川幸男基金ならびにその関係者の皆様に心からの感謝の意を表する．

参考文献

- [1] Krawczynski, H., et al., 2022, Science, 378, 650
- [2] Jana, A., & Chang, H., 2024, MNRAS, 527, 10837

日本天文学会早川幸男基金による渡航報告書

Astrophysics and Space Science in Marche I

氏 名: Zhaoxuan Liu (東京大学 カブリ数物連
携宇宙研究機構 (Kavli IPMU) M2 (渡
航当時))

渡航先: イタリア シローロ

期 間: 2024年9月1~7日

From Sep 2nd to Sep 6th, I attended the conference “Astrophysics and Space Science in Marche I: AGN feedback and star formation across cosmic scales and time”, held in Sirolo, a charming seaside small town on the west coast of the Adriatic Sea in Italy. The conference centered on recent advances in simulation and observation of AGN feedback and star formation across cosmic scales and time. These studies have been enhanced by new data from ALMA, JWST as well as XRISM, recently launched by JAXA.

On the first day, I presented a contributed talk entitled “JWST and ALMA discern the assembly of structural and obscured components in high-redshift starburst galaxies” during the “Star Formation Across Cosmic Time” section. My talk focused on the spatially resolved observation with JWST and ALMA on two starburst galaxies at cosmic noon. For both galaxies, we utilized high-resolution ALMA observations (CO 5–4 and its underlying dust continuum, ~ 0.1 and 0.3 arcsec) along with data from JWST (from COSMOS-Web and PRIMER), allowing us to construct spatially resolved star formation rate (SFR), gas mass and stellar mass maps. The first part of my talk focused on PACS-819, a starburst that lies 11 times above the Main Sequence (MS). Spatially resolved modeling using ALMA and

JWST/NIRCam+HST data revealed disk-dominated kinematics and a spiral-like morphology, indicating that starburst triggering at cosmic noon is not necessarily due to major mergers. This research is detailed in Liu et al. 2024, ApJ 968, 15. In the second part, I discussed PACS-830, a spiral-like starburst galaxy where a PAH deficit was identified in its starbursting core. In this study, CO 5–4 is used as a tracer for the total infrared luminosity (LIR), and MIRI/F1800W serves as a tracer for luminosity at rest-frame $8\mu\text{m}$ (L8, containing PAH $7.7\mu\text{m}$ emission). IR8 is inferred from the division of two maps after homogenizing the grid and spatial resolution using a convolutional kernel. The observed bump in IR8 at the starburst center can be interpreted as a PAH deficit, likely resulting from the destruction of PAHs by intense star-forming activity in the starburst core. Such a PAH deficit might be a new tracer for central starbursts occurring in the dusty centers of SFGs in the distant Universe. My work showcased excellent examples of joint studies using JWST and ALMA on starbursts at cosmic noon. Combining these observations provides a more comprehensive view of SFGs concerning their ISM and obscured stellar populations in the distant Universe.

Following my talk, I received an inspiring question about whether similar high-resolution studies could be applied to AGN host galaxies at cosmic noon, focusing on internal physics, mass distribution, and PAH content. I explained that such studies are indeed challenging due to redshift constraints—especially the need for the PAH

7.7 μm emission to remain within the MIRI wide-band filter in the absence of MIRI spectroscopy. Additionally, for AGN host galaxies, detailed PSF handling and subtraction of AGN contributions are necessary before estimating the mass distribution using pixel-based SED fitting.

The conference provided valuable insights into AGN outflows and galaxy quenching, notably from the Blue Jay collaboration, which utilized JWST/NIRSpec spectroscopy to observe cosmic noon AGNs. Their findings highlighted the importance of AGN-driven outflows in quenching massive galaxies at this epoch. Additionally, on the last day, Dr. Satoshi Yamada from RIKEN presented the remarkable sensitivity of XRISM spectra in detecting X-ray winds, showcasing the instrument's capabilities. As a student from a Japanese institute, I was delighted to see the astonishing outcome of XRISM.

I am sincerely grateful to the Hayakawa Foundation and the ASJ for their generous support of my trip.

〈日本語要訳〉

本レポートでは、2023年9月2日から6日にかけてイタリア・シローロで開催された国際会議「Astrophysics and Space Science in Marche I」に出席し、AGN フィードバックと星形成が宇宙的

スケールおよび時間にわたってどのように進むかを議論した成果を報告する。筆者は“JWST and ALMA discern the assembly of structural and obscured components in high-redshift starburst galaxies”という題目で、星形成最盛期に存在する2つのスターバースト銀河の空間分解観測を報告した。具体的には、ALMA (CO 5-4 およびダスト連続放射) と JWST/NIRCam, ハッブル宇宙望遠鏡を組み合わせることでターゲット銀河の星形成率、ガス質量、星質量の空間分布を調査し、スターバーストを駆動する要因や中心部における Polycyclic Aromatic Hydrocarbon (PAH) 欠乏の可能性を指摘した。また、このような高解像度観測を AGN 母銀河へ応用する際の技術的課題 (PSF 処理, AGN 成分の分離など) にも言及した。会議中には AGN 駆動アウトフローが銀河の星形成抑制過程に果たす役割, JWST/NIRSpec による星形成最盛期の AGN の研究, そして打ち上げられたばかりの XRISM 衛星が示す高感度の X 線アウトフロー検出能力といった関連トピックが議論され、AGN—銀河共進化を探るための新たな観測の重要性が改めて認識された。今後の共同観測・解析の展開によって、遠方銀河における星形成と AGN フィードバックのメカニズム解明がさらに進むことが期待される。なお、今回の研究発表は日本天文学会早川幸男基金の支援により実現したものである。(訳: 尾上匡房)