
2021 年度 第 51 回 天文・天体物理 若手夏の学校
銀河・銀河団 アブストラクト集

北山 哲 (東邦大学 理学部物理学科・教授)

8月23日 17:00–18:00 B会場

宇宙の実験場としての銀河団

宇宙最大の自己重力系である銀河団は、宇宙論と天体物理学の接点に位置する研究対象であり、宇宙の進化と個々の天体の性質を統合的に理解するための有益な情報源となる。観測データが豊富であると同時に、それらを基礎理論と比較しやすい環境であることから、宇宙論モデル、構造形成過程、プラズマ物理、ダークマターの性質などを定量的に検証することが可能となる。また、重力レンズ効果を介して、より遠方の宇宙を探るための天然の望遠鏡としても機能する。本講演では、このような宇宙の実験場としての特性に焦点をあてながら、銀河団研究の現状と展望について議論する。

日下部 晴香 (ジュネーブ大学 理学部天文学科ジュネーブ天文台 (JSPS 海外特別研究員))

8月24日 17:00–18:00 B会場

Lyaで探る遠方の銀河周辺物質とスイスでのポスドク生活

銀河周辺物質 (circumgalactic medium, CGM) とは、銀河を取り巻くガスのことです。CGM は inflow と outflow によって銀河とガスを交換し、星形成の燃料であるガスの貯蔵庫の役割を担っています [??]。そのため、CGM の性質や形態を調べることは銀河進化を明らかにする上で重要となります。遠方の宇宙では CGM の観測的なトレーサーとして Ly α ハローという、Ly α で淡く広がって輝いている構造が用いられます。星形成銀河の Ly α ハローは大変暗く、近年登場した可視光の広視野面分光装置 (例えば Multi Unit Spectroscopic Explorer, MUSE) により、個別検出が可能となりました。本講演では、特に MUSE に着目し、140 時間積分を行った MUSE Extremely Deep Field (MXDF) の最新の成果や、この分野での観測とシミュレーションのハイライトを外観します [??, ??, ??]。

また、本講演では、海外での研究者生活の一例としてスイスのジュネーブ天文台での充実した生活も紹介します。共同研究の開拓、日々の伸び伸びとした暮らし、非英語圏での言語の壁と現地語学習、突然の入院手術、ポスドク二体問題など、楽しいことから大変だったことまで幅広くお話ししたいと思います。またキャリアパスについてのリクエストも頂いたので、院生からポスドク3年生までの短い期間の経験に基づいてではありますが、学生時代／海外渡航前 (引っ越し) ／渡航後にやって良かったこと、やっておけば良かったこと、普段心がけていること、さらに雇用形態 (現地雇用、現地のフェロー、海外学振) についてもお話しします。少しでもご参考になれば幸いです。

銀河 1

How do dark-matter-deficient galaxies form?

大滝 恒輝 (筑波大学物理学学位プログラム D1/筑波大学情報理工学位プログラム M1)

In the standard galaxy formation model, cold dark matter (CDM) has played an essential role. Studies of galaxy surveys and cosmological simulations in the CDM paradigm have shown that the dark matter fractions of galaxies expected to be more than 90%, which is known as the stellar mass-halo mass (SMHM) relation[1].

However, recently it is suggested that the satellite galaxy NGC1052-DF2, a member of the elliptical galaxy NGC1052 group, has a very little dark matter component compared to the SMHM relation[2]. 27 dark-matter-deficient galaxies have been discovered up to now, but it is difficult to explain these formation process in the CDM model.

We investigate the formation process through dark matter sub-halos (DMSHs) collisions using an analytic model and three-dimensional numerical simulations. We derive critical collision-velocities for the bifurcation sequence of the formation of dark-matter-dominated galaxies and dark-matter-deficient galaxies.

The result of N -body/SPH simulations of the head-on collision between DMSHs shows that the critical collision-velocity to form the dark-matter-deficient galaxies is 50-200 km s⁻¹ for the total mass of 10⁹ M_⊙. We will present our model and numerical experiments for various galaxy masses and collision speed in detail.

[1] P. S. Behroozi, R. H. Wechsler and C. Conroy, ApJ, 770, 57, 2013

[2] P. van Dokkum, S. Danieli, Y. Cohen, A. Merritt, A. J. Romanowsky, R. Abraham, J. Brodie, C. Conroy, D. Lokhorst, L. Mowla, E. O' Sullivan, and J. Zhang, Nature, 555, 629, 2018

銀河 2

2つの活動銀河核を持つ合体銀河 Mrk 739 の広帯域 X 線スペクトル解析

稲葉 昂希 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

銀河とその中心に存在する巨大ブラックホールには質量の相関があり、両者は互いに影響し合って共進化してきたと考えられる。共進化を理解する上で鍵となるのが、銀河

同士の合体である。なぜなら、合体によりガスやダストが高密度となった環境下では星形成が活発化し、中心部への莫大な質量降着も誘起されるからである (e.g., Hopkins et al. 2008[1])。特にブラックホール成長の現場は活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) として観測され、降着物質やその周囲のトーラス構造を反映する X 線などを強く放射する。近年の X 線観測の研究により、赤外線ですべてに明るい (星形成が激しい) 合体後期の銀河では、トーラスが中心を覆う立体角は大きく ($\Omega/4\pi \sim 0.6$)、AGN の質量降着も激しくなることがわかった (Yamada et al. 2021[2])。しかし、銀河合体の普遍的な描像を確立するためには、赤外線ですべてに明るい合体銀河についても同様に調査することが不可欠である。

そこで本研究では、赤外線光度が小さく、2つの AGN を持つ合体後期の銀河である Mrk 739 に着目し、X 線天文衛星 NuSTAR、Chandra、XMM-Newton、Swift/BAT のデータを用いて広帯域 X 線スペクトル解析 (0.5–70 keV) を行った。現実的なトーラス構造を再現した XCLUMPY モデル (Tanimoto et al. 2019[3]) を適用して、それぞれの AGN (Mrk 739E/Mrk 739W) が持つ水素柱密度 ($N_{\text{H}} \sim 2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-2}$; $\sim 7 \times 10^{21} \text{ cm}^{-2}$) と X 線光度 ($L_{\text{X}} \sim 1 \times 10^{43} \text{ erg/s}$; $\sim 7 \times 10^{41} \text{ erg/s}$) を推定した。特に X 線で明るい Mrk 739E では、激しい質量降着率 ($\lambda_{\text{Edd}} \sim 0.2-0.7$) は持つものの、トーラス立体角は小さい ($\Omega/4\pi \lesssim 0.5$) ことが判明した。さらに、可視光観測から推定される Mrk 739E の母銀河の星質量 ($\sim 10^{10.5} M_{\odot}$) は、赤外線ですべてに明るい合体後期の銀河の典型値 ($\sim 10^{11} M_{\odot}$) より小さいことも分かった。以上の結果は星質量が小さい銀河では合体に伴い AGN に流入するガスやダストの量が小さくなる、すなわち母銀河の性質が合体銀河中の AGN 活動に影響を与えることを示唆する。

[1] Hopkins, P. F., Hernquist, L., Cox, T. J., et al. ApJS, 175, 356-389, 2008

[2] Yamada, S., Ueda, Y., Tanimoto, A., et al. ApJS, 2021, accepted

[3] Tanimoto, A., Ueda, Y., Odaka, H., et al. ApJ, 877, 95, 2019

銀河 3

近赤外線長期観測データを用いた AGN 変動カ
ラーの測定とその応用

水越 翔一郎 (東京大学 理学系研究科天文学専攻
修士 2 年)

銀河中心に存在する活動銀河核 (AGN) はダストトーラスという遮蔽構造を持つとされるが、これは同時に中心ブラッ

クホールへの降着物質の供給源とも考えられている。また、この降着物質の大半が降着円盤からの輻射圧により母銀河へフィードバックされるため、ダストトラスは AGN と銀河の共進化を解明する鍵になると期待される。特にダストはガスよりはるかに強い輻射圧を受けるため、ダストトラスを直接観測可能な obscured AGN におけるダスト調査がとりわけ重要となる。ダスト分布調査では減光量 A_V の測定が有用であるが、可視光観測による A_V 測定は遮蔽効果が大きい obscured AGN では困難であった。

そこで我々は、より透過力の高い近赤外線の flux 変動を利用した、obscured AGN にも適用可能な新しい A_V 推定手法を着想した。本手法では AGN 由来の flux 変動における変動放射成分のカラー (変動カラー) の赤化量からダストトラスの A_V を推定することで、データから AGN 成分を抽出する手間を省き、精度向上と容易な大規模サンプル展開が見込める。

我々は *Swift*/BAT 観測による $z < 0.1$ の AGN サンプル約 650 天体に対し、赤外線衛星 WISE の波長 $3.4 \mu\text{m}$ 、 $4.6 \mu\text{m}$ の 2 つの波長帯における各天体の変動カラーを測定し、X 線観測による中性水素ガス柱密度 (N_{H}) と比較した。結果、サンプルの半分以上で変動カラーが精度良く求まり、また N_{H} の増加に伴って、特に obscured AGN でダスト減光に起因するであろう変動カラーの赤化が見られた。また、unobscured AGN の変動カラーは黒体放射温度約 1070K を示すほぼ一定値となった。これはダストトラス内縁部の高温ダストが起源と考えられる。一方、X 線観測による N_{H} は A_V とガス-ダスト比の銀河系標準値から推定した N_{H} より大きく、各天体で 2 桁程度バラついた。この結果は先行研究 [1][2] と無矛盾である。以上より、本手法は obscured AGN における大規模なダスト量調査に有用である。

[1] Maiolino et al. 2001, A&A, 365, 28

[2] Burtscher et al. 2016, A&A, 586, A28

銀河 4

銀河団中心銀河 H1821+643 で見られる爆発的星生成とブラックホールへの質量降着の起源 福地 輝 (東北大学 理学研究科天文学専攻 M1)

銀河団中心銀河 H1821+643 ($z = 0.297$) は *Swift*/BAT 硬 X 線サーベイ (14–195 keV) で検出された天体のうち、ビーミングの影響を受けた天体を除いて最も光度が大きい活動銀河核 (AGN) である。その光度は $L_{14-150\text{keV}} = 5.2 \times 10^{45} \text{ erg s}^{-1}$ に達し、さらに赤外線光度が $L_{\text{IR}} > 10^{13} L_{\odot}$ と Hyper-luminous Infrared galaxy に分類されるほど明るい。これらは超巨大ブラックホール (SMBH) と

母銀河の双方が激しく成長している過程にいることを示唆しており、近傍宇宙における銀河団中心銀河で一般的に見られる性質とはまったく異なる。よって、現在も質量獲得フェイズにいる H1821+643 は銀河団内における銀河成長を調査できる稀有な天体である。この天体では効率的に銀河団高温ガスの消費を行っていることが示唆されるため McDonald et al. (2018) では中間赤外線スペクトルを利用して星生成率を求めている。我々はより定量的に銀河団内におけるガスの消費量と銀河団からのガスの供給量を比較するため、H1821+643 のより多波長な観測データ (X 線-遠赤外線) を使い、spectral energy distribution (SED) フィットを行った。それにより、AGN 成分と母銀河成分を分離し SMBH 降着率と星生成率を見積もることで、銀河団内におけるガスの消費量 \dot{M}_{con} を求めた。銀河団ガスの冷却によるガス供給量 \dot{M}_{inflow} を求めた結果、比率は $\dot{M}_{\text{con}}/\dot{M}_{\text{inflow}} \sim 1$ となり、これは他の近傍銀河団中心銀河で推定されている $\dot{M}_{\text{con}}/\dot{M}_{\text{inflow}} \sim 0.01-0.1$ と比較しても非常に高く、McDonald et al. (2018) の結果と consistent であることを確認した。このように効率的に銀河団からの流入ガスを冷却し消費するためにはガスを 100K 以下にまで冷やす必要があるが、この天体は [O III] $88 \mu\text{m}$ の微細構造線光度が大きく cooling path の一つとして主要な役割を果たすかもしれない。

銀河 5

すばる望遠鏡で見つかった銀河団に潜む活動銀河核の研究 橋口 葵 (奈良女子大学 M1)

銀河団はダークマター、高温ガス、星の 3 つの要素で構成された宇宙で最大の自己重力系天体である。また、活動銀河核 (AGN) は超巨大ブラックホールにより銀河全体にも匹敵する膨大なエネルギーを放射する天体である。フィールド銀河よりも、銀河団中の銀河の方が AGN の保有率が高いこと等から、AGN 活動が銀河団の形成・進化と密接な関係がある可能性が示唆されている。

本研究では、銀河団という特別な環境下にある AGN について調べることで、両者の相互関係を調査することを目的とする。すばる望遠鏡で探査された可視光銀河団である CAMIRA 銀河団の Deep+UD カタログ [1] と、COSMOS フィールド上における電波、中間赤外線、X 線の 3 つの波長で選択された AGN について解析を行った。それぞれのカタログをクロスマッチし、AGN が存在する銀河団を求めた。先行研究 [2] では、明るい銀河団の、全天の二次元的な天体分布のみを用いていた。一方、本研究では、遠く暗い銀河団まで含まれた CAMIRA 銀河団カタログを用い、更にメンバー銀河である確率が高いものに絞り前景や後景の銀

河を含みにくくすることで、精度の高い調査を行った。銀河団のリッチネスと AGN の数から AGN fraction を求め、これより、銀河団の赤方偏移と AGN fraction から銀河団中に存在する AGN の赤方偏移依存性について、また銀河団中心からの距離と各距離における AGN fraction から環境依存性について調べた。その結果、銀河団中に存在する AGN は赤方偏移 $z < 0.8$ の範囲で赤方偏移とともにその割合が大きくなり、その相関係数は 0.3 程度であった。また、銀河団の中心部にはその他の部分の 4 倍ほどに及ぶ AGN の過密が見られた。サンプル数を増やすため、CAMIRA 銀河団の WIDE カタログと赤外線衛星 WISE による AGN カタログを用い、同様に解析を行なった。この結果についても議論する。

[1] Oguri M. et al., 2018, PASJ, 70, S20

[2] Galametz A. et al., 2009, ApJ, 694, 1309

銀河 6

銀河団 SPT-CL J0615–5746 に属する CO 分子輝線銀河が示す環境効果による星形成活動の抑制 中野 覚矢 (名古屋大学 博士前期課程 1 年)

宇宙全体の星形成率は $z \sim 2$ でピークに達して以降低下し続けており、そのメカニズムの 1 つとして環境効果による星形成活動の抑制 (quenching) が先行研究によって示唆されている。環境効果による quenching のプロセスとして複数のシナリオが提案されているが、個別の天体ごとによらずのシナリオを辿るかは不明である。その解明のために、環境効果によって quenching が起こっていると思われる銀河の物理情報が多く必要となる。本研究では、ALMA により観測された、 $z = 0.972$ に存在する大質量銀河団 SPT-CL J0615–5746 の中心部 ($\sim 0.2R_{200}$) に位置する 3 つのメンバー銀河の物理的性質を解析した。SPT-CL J0615–5746 は高温の銀河団ガス (ICM) で満たされていると考えられるため、中心部では環境効果による quenching が見られることが期待される。解析の結果、1 つの前景天体を含む 4 つの銀河でダスト連続波が検出され、更にそのうち 3 つのメンバー銀河では CO($J = 5-4$) 輝線が 5σ 以上の有意性で検出された。CO($J = 5-4$) 輝線が検出された 3 天体について、星形成率と分子ガス質量は $SFR \sim 10-10^2 M_{\odot} \text{ yr}^{-1}$ 及び $M_{\text{mol}} \sim 10^{10} M_{\odot}$ と得られ、これらの銀河が活発な星形成活動を示すことを明らかにした。さらに、1 つの銀河で CO($J = 5-4$) 輝線のテール構造が 5.7σ で検出され、ICM との相互作用によって分子ガスが剥ぎ取られていることが示唆された。また、HST による可視光-近赤外線での画像から、この銀河では剥ぎ取られたガスにおいても星形成が付随している兆候が見られる。この銀河は $z \sim 1$ という遠

方銀河団で、空間分解された分子ガスの観測によって初めて捉えられたガスストリッピングの兆候を示す天体である。

銀河 7

$z > 1$ における遠方銀河団探査とメンバー銀河の環境依存性

山本 直明 (東北大学 D2)

銀河の多様性がどのように生じてきたのか未解明な部分は多い。近傍宇宙では銀河の諸物理量 (色・年齢・星形成活動・形態など) は、銀河の周辺環境によって大きく異なることが知られている。この銀河進化の環境依存性がいつどのように生じてきたのかについて過去に遡って理解を深めることは、銀河の形成や進化の歴史を紐解く上で非常に重要である。しかしながら遠方宇宙における環境依存性の研究は、銀河団のサンプル数が限られており統計的な調査が少ないという問題や、比較的進化の進んだ銀河団にバイアスされているという問題があった。そこで従来よりも視野が広く深い観測データが利用できる、超広視野撮像装置すばる HSC に着目し大規模な遠方銀河団探査を行ってきた。星形成を終えた赤い銀河と星形成が活発な輝線銀河の 2 つの銀河種族を手掛かりにハイブリッドな銀河団サーベイを行い、様々な進化段階の銀河団候補を探査を試みてきた (HSC2 : HSC project 110)。さらに $z \sim 0.84$ における輝線銀河の密度超過領域の中で、銀河団の発達段階による赤い銀河の環境依存性を見つけることに成功し、発達段階の異なる銀河集団を見つけられていることがこれまでに裏付けられている。本講演では、この銀河団サーベイを $z > 1$ に拡張した結果を紹介する。すばる HSC の広く深い可視光データと Ultra-VISTA などの近赤外データを組み合わせることで、より遠方の銀河団探査やメンバー銀河の性質調査が可能になる。例えば $z = 1.453-1.489$ では [O2] 輝線銀河の密度超過領域に付随した銀河を調べることができる。一般フィールドと比較して密度超過領域に存在する銀河がどのような環境依存性を持つのか明らかにし、特に環境効果が現れやすい進化の進んだ赤い銀河を通して、銀河団やメンバー銀河がどのような進化を経験してきたのかについて議論する予定である。

銀河 8

星形成活動の遷移期 $1 < z < 1.5$ にある原始銀河団コアの系統的探査

安藤 誠 (東京大学 D2)

近傍宇宙では、銀河の星形成活動が周囲の環境に強く依存することが知られている [1]。環境と星形成活動との相関がいつ・どのように生じたのかを理解することが、銀河進化研究の課題の一つであり、様々な環境・異なる赤方偏移にあ

る銀河の性質を比較することが重要である。

銀河の大規模集団である銀河団は、総質量が $10^{14} M_{\odot}$ に及ぶ巨大な重力束縛系であり、近傍の銀河団の内部では多くの銀河が星形成を停止している。しかし 100 億年に及ぶ銀河団の成長過程で、どのように銀河の星形成が停止してきたかには一致した見解がない。星形成活動の停止過程を詳しく調べるためには、高赤方偏移に存在する成長途上の銀河団＝原始銀河団を探し、そこに属する銀河の性質を調べる必要がある。現在の理解では、(1) $z > 2$ に存在する原始銀河団では星形成がむしろ活発であり、(2) $z < 1$ で見つかる成長した銀河団では、すでに星形成が停止している。そこで星形成活動の「遷移期」にあたる $z \sim 1.5$ に焦点を当て、この時期に存在する原始銀河団を、ダークマターハロー (DMH; ダークマターの重力束縛系) 質量に着目した手法 [2] に基づいて探査した。

以下、原始銀河団中の最も重い DMH を「コア」と呼称する。すばる望遠鏡の可視光撮像サーベイ HSC-SSP の 22 平方度にわたる Deep 領域の銀河カタログから、星質量が $\geq 2 \times 10^{11} M_{\odot}$ のような銀河を選び出し、コアに属する中心銀河候補とみなした。それらの DMH 質量をクラスタリング解析から推定すると、 $\sim 3 \times 10^{13} M_{\odot}$ であった。この結果を銀河進化シミュレーション IllustrisTNG と比較し、これらコアの候補は $z = 0$ までに中小規模の銀河団に進化することを確かめた。以上により、1000 個以上の原始銀河団コアの候補を探し出した。

本講演では、原始銀河団コアとその周囲に存在する銀河の平均的な性質を、主に星形成活動の指標となる赤い銀河の割合と、星質量分布の観点で調べることで、星形成遷移期にある原始銀河団での銀河進化について議論する。

[1] Peng et al., APJ, 721, 193, 2010

[2] Ando et al., MNRAS, 496, 3169, 2020

銀河 9

ALMA で探る XCS2215 銀河団銀河 ($z = 1.46$) の構造形成

池田 遼太 (総合研究大学院大学/国立天文台 M1)

近傍の銀河団において早期型銀河が高い割合で存在しているという事実はよく知られているが、そこに至るまでの過程はいまだに解明されていない。早期型銀河の形成に重要な銀河間相互作用などの環境効果の影響を理解するためには、銀河団銀河がフィールドにある銀河とどのように異なるのかを知る必要がある。銀河の形成史を調べる一つの方針として、星形成と活動銀河核、双方の活動が現在より遙かに活発な遠方銀河の高分解能観測を行い、銀河内の分子ガス、ダスト、恒星の分布を調べることが挙げられる。

ダストは星形成が活発な領域をトレースし、分子ガスから恒星への転化が起きていることの指標となる。したがって、これら 3 つの要素それぞれの分布の変化を追うことは、銀河の形成過程を知る重要な手がかりとなる。

本研究では赤方偏移 1.46 の XMMXCS J2215.9-1738 (XCS2215) 銀河団 [1] に着目し、ALMA を用いて銀河団銀河のダストと分子ガスを観測した。先行研究では XCS2215 銀河団中心から約 400kpc 以内の領域に $870\mu\text{m}$ ダスト連続光 ($S/N > 4.6$)、或いは CO $J = 2-1$ 輝線 ($S/N > 5$) で検出された銀河が合計で 18 個報告されている [2]。我々はこれらの銀河を対象にビジビリティデータのフィッティングを行い、ダスト分布 ($870\mu\text{m}$ 連続光) と分子ガス分布 (CO $J = 2-1$ 輝線) のサイズ (有効半径 R_e) を測定した。約 $0.2''$ (≈ 1.7 kpc) の角分解能でダスト分布の有効半径は平均的に $R_{e,\text{dust}} = 1.10 \pm 0.68$ kpc となり、星形成は銀河の中心部でコンパクトに行われていることがわかった。これは早期型銀河の形成が宇宙年齢 44 億年の初期宇宙で既に進んでいたことを示唆する結果である。本講演では、星形成と分子ガスをそれぞれトレースするダスト連続光と CO 輝線の分布を比較し、環境ごとの星形成効率の違いや銀河間相互作用の影響、 $z = 0$ に見られるような銀河団中心の大質量銀河の形成シナリオについて議論する。

[1] Stanford S. A., et al. 2006, ApJL, 646, L13

[2] Hayashi M., et al. 2018, ApJ, 856, 118

銀河 10

狭帯域撮像観測で探る $z = 2$ における小質量星形成銀河の環境依存性

大工原 一貴 (東北大学理学研究科天文学専攻 M2)

銀河の形成進化を理解するためには、未だに性質がよく分かっていない銀河形成の初期段階にある小質量銀河について調べる必要がある。質量集積と星形成は、銀河の形成進化を担う非常に重要な物理過程である。しかし、これらの物理過程がどのように結びつき進化してきたのか、定量的に示せていない。この課題に挑むためには、銀河形成の初期段階から晩期にかけて幅広く調べ、かつ、様々な環境で調査する必要がある。

我々はすばる望遠鏡/MOIRCS を用いて非常に深い狭帯域撮像観測を行い、銀河形成最盛期の星形成銀河サンプルを構築し小質量星形成銀河の性質を調べている。本講演で紹介する $z = 2$ の低密度環境下の星形成銀河サンプルは、 $M_* \sim 10^8 M_{\odot}$ 、 $\text{SFR} \sim 2 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ までの ~ 70 天体で構成されている。

本研究では、銀河の形成進化がどのように環境依存してい

るのか調べるために、この低密度環境下の星形成銀河サンプルと原始銀河団 (PKS1138,USS1558) 内の星形成銀河の比較を行なった。過去の狭帯域撮像観測によって、USS1558で爆発的な星形成活動を行なっている小質量星形成銀河が複数見つかった (Hayashi et al. 2016)。しかし、今回調査した COSMOS 領域では、そのような小質量星形成銀河は検出されなかった。そこで星形成活動の環境依存性をより詳細に調べるため、高密度領域と低密度領域に存在する星形成銀河が主系列 (星形成率と星質量の相関関係) からの程度ずれているのかを調べ、KS テストを用いて比較を行なった。その結果、小質量側では分布に差があることが示され ($p < 0.05$)、大質量側では全ての原始銀河団でフィールド領域との差は確認できなかった。このことから、小質量星形成銀河は何かしらの環境効果を受けている可能性が示唆された。

銀河 11

可視近赤外線撮像データを用いた $z = 2.39$
53W002 原始銀河団における大質量銀河の探査と
性質の調査
米倉 直紀 (愛媛大学大学院理工学研究科 D1)

近傍の銀河団では早期型銀河の存在割合が高いことが知られている [1]。銀河団の早期型銀河を形成する古い星は $z > 2$ の時代に形成されたと考えられている [2]。そのため早期型銀河の形成と進化の理解には、形成時期にあたる $z > 2$ の高密度環境を調査することが重要になる。

我々は $z = 2.39$ にある 53W002 原始銀河団に注目した。この原始銀河団では電波銀河 53W002 の周囲に同じ赤方偏移にある Ly α Emitter (LAE) が 204 個発見されており、53W002 原始銀河団は一般の銀河団へ成長すると考えられている [3]。しかし一般に LAE は若く小質量の星形成銀河であると考えられており、近傍の早期型銀河とは性質が大きく異なる。そのため原始銀河団に対して LAE 探査のみでは大質量銀河を見落としている可能性がある。そこで本研究ではこの原始銀河団に対して可視近赤外線の撮像データを用いて大質量銀河候補の探査を行った。Balmer/4000 Å ブレイクを利用した色選択と種族合成モデルを使った SED fitting によって候補天体の選出と物理量推定を行った。また一般領域でも同様の手法で解析を行い、原始銀河団領域と一般領域を比較した。

その結果、原始銀河団領域では明るく ($K_s, AB < 22.25$)、赤い色 ($J - K_s, AB > 2$) を持つ銀河が一般領域に比べて約 8 倍の個数密度を持っていることが分かった。また星質量や比星形成率を比較したところ、原始銀河団領域には星質量が $10^{11} M_{\odot}$ 以上の大質量銀河や、星質量が $5 \times 10^{10} M_{\odot}$ で比星形成率が 10^{-11} yr^{-1} 以下の星形成を終えた銀河の密

度超過が確認された。この結果は一般の銀河団へ成長する原始銀河団においてもすでに大質量銀河の形成が一般領域よりも進んでおり、すでに星形成を止めた大質量銀河も存在している可能性が高いことを示している。また原始銀河団領域において大質量銀河候補天体と LAE の空間分布を比較した結果、選出した天体の密度ピークは LAE の密度ピークからはわずかにずれる傾向も見られた。本講演ではこれらの結果について報告する。

- [1] Dressler, A. 1980, ApJ, 236, 351.
- [2] Bower, R. G., Lucey, J. R., & Ellis, R. S. 1992, MNRAS, 254, 601.
- [3] Mawatari, K., Yamada, T., Nakamura, Y., et al. 2012, ApJ, 759, 133

銀河 12

原始銀河団領域 SSA22 における JVLA 5cm 電波
連続光観測：ソースカタログの作成
松田 慧一 (名古屋大学大学院 理学研究科 修士
二年)

本講演では、Karl G. Jansky Very Large Array (JVLA) の C-band (中心波長 5 cm) で観測された、 $z = 3.1$ に位置する原始銀河団を含む SSA22 領域の電波連続光の解析結果を報告する。宇宙全体の星形成最盛期、かつ銀河進化が促進される高密度環境 (原始銀河団) において、爆発的な星形成銀河や活動銀河核 (AGN) の密度超過を定量的に理解することは、銀河進化を探る上で極めて重要である。そこで、星形成活動や AGN をトレースする電波連続光に注目し、X線天文衛星 *Chandra* やサブミリ波干渉計 ALMA と組み合わせることで、原始銀河団 SSA22 領域における銀河活動性の超過を定量的に理解することを目指す。これまでに、原始銀河団 SSA22 領域では JVLA S-band, L-band (中心波長 13 cm, 20 cm) による電波連続光の観測が行われてきた。本研究では、これらの観測と比較して高分解能を実現できる C-band による観測とそのデータの解析を行った。解析では、縞状のノイズを含んでいる観測データに対し、そのノイズの発生源の特定と除去を試みた。解析の結果、beam size が $0.89'' \times 0.79''$ 、r.m.s. (1σ) = $0.30 - 0.34 \mu\text{Jy}/\text{beam}$ のマップを得た。この r.m.s. は、このデータの理想的な熱雑音の大きさ ($0.26 \mu\text{Jy}/\text{beam}$) に迫る値である。また、この r.m.s. は C-band の観測の中でも最も高感度な結果の一つである Hubble Ultra-Deep Field の観測結果の感度 (r.m.s. = $0.32 \mu\text{Jy}/\text{beam}$) と同等の値である。そのため、このマップは C-band データの中で最も深いものの一つと言える。このマップに対し、JVLA 視野 (59 arcmin^2) にわたって公開コード (Aegean) を用いて正もしくは負の SNR

を持つソースの塊を検出した。検出結果から、総ソース数と負の SNR を持つソースの数の比である偽検出率と、マップに埋め込んだ人工的なソースの検出率でありどれだけ正しく検出を行うかの指標となる completeness を計算した。そして、計算から求めた偽検出率を使い、検出した天体の分類分けを行った。その結果、偽検出率が 0% となる信号対雑音比 ≥ 5.5 で 222 個の天体 ($S_{5\text{cm}} \geq 1.9 \mu\text{Jy}$) を検出した。

銀河 13

機械学習と分光観測データで探る極金属欠乏銀河 西垣 萌香 (総合研究大学院大学 1 年)

遠方宇宙にある形成直後の銀河は低い金属量を持つと考えられる。近傍宇宙にも、極金属欠乏銀河 (EMPG) と呼ばれる金属量が太陽の 10% 未満 ($< 0.1Z_{\odot}$) の銀河が存在しており、これらは初期の銀河形成を理解するのに重要である。EMPG の多くは、低密度領域に存在していることが過去の研究で示されたが、その形成メカニズムは明らかになっていない。本研究では、機械学習を用いて新たな EMPG を探索すると共に、既知の EMPG を用いてその形成メカニズムを理解するための緒を探す。まず、新たな EMPG を探すために、決定木に基づく機械学習を用いた分類器を開発した。これを SDSS の撮像観測で検出された約 57 万天体に適用し、およそ 700 天体が EMPG 候補として選択された。このうち 133 天体についてせいめい望遠鏡となゆた望遠鏡で分光観測を行い、100 天体程度から輝線が検出された。得られたスペクトルからは、BPT 図上で EMPG と同程度の金属量を持つ銀河が複数見つかった。一方で、過去の観測研究で分光同定された 53 個の EMPG について、宇宙大規模構造における空間的位置を調べた。SDSS の分光銀河 ($i' \lesssim 18\text{mag}$) を用いて EMPG 周辺の宇宙大規模構造を描いたところ、これまで報告されていたように多くの EMPG が他の銀河から離れた領域に存在することが確かめられた。また、EMPG はボイドやクラスターよりも、フィラメントに多く存在している可能性があることもわかった。今後、フィラメント銀河カタログなどを用いてこれを確かめる予定である。本講演では、EMPG の探索の現状を紹介すると共に、大規模構造のそれぞれの位置で、EMPG がどのように形成されたかについて理論研究との比較などを行いながら議論したい。

銀河 14

電離スペクトルから迫る形成初期銀河の強い HeII 輝線の起源

梅田 滉也 (東京大学 理学系研究科物理学専攻 M1)

形成初期の銀河は金属量が少ないと考えられている。そのため、銀河形成の初期段階を理解するため極金属欠乏銀河 (EMPG) の研究が行われているが、その性質は未だ分からないことが多い。EMPG に見られる強い高電離輝線 HeII の起源もその 1 つである。例えば $z \sim 2$ における EMPG では、星の種族合成モデルを用いて輝線比を再現しようとすると、観測された HeII 強度の 1/5 以下しか説明できていない。[1]

本研究では、従来の研究のアプローチとは異なり、観測で得られた HeII4686 を含む複数の輝線 ($H\beta$, $[\text{OII}]3727$, $[\text{OIII}]5007$ など) を説明する電離スペクトルの形状を光電離モデル CLOUDY とマルコフ連鎖モンテカルロ法で探る。ここで、電離スペクトルは、熱的な黒体放射と非熱的な冪乗放射の 2 成分の和とし、AGN のスペクトルも包含する一般化された形状を仮定する。この手法により、強い HeII4686 輝線を出し、 $0.016Z_{\odot}$ とこれまでに検出された中で最も金属量が少ない EMPG J1631+4426 の電離スペクトルの形状を推定した。

その結果、用いた全ての輝線を観測値の 3σ 以内で再現できる電離スペクトルを得ることに成功した。得られた電離スペクトルは、水素のイオン化エネルギー (13.6eV) からヘリウムの第二イオン化エネルギー (54.4eV) までの範囲で下に凸の形のスペクトルになっており、従来の研究で使われていた星の種族合成モデルが与える上に凸の形とは根本的に異なることが分かった。このような下に凸のスペクトルを持つ天体としては、降着円盤の温度が $10^4\text{--}5\text{K}$ 程度の黒体放射と $\alpha = -1$ の冪乗放射をもつ AGN が考えられる。本講演では、AGN の他に、電離源が大質量 X 線連星など他の天体の可能性についても検証し議論する。

[1] Berg, D. A., et al., ApJ, 859, 164, 2018

銀河 15

ずばるによる極金属欠乏銀河観測：He 量から探る初期宇宙の熱史と新素粒子 松本 明訓 (東京大学 M1)

ビッグバン元素合成で作られる全バリオンに対する He の質量比 Y_p は、ニュートリノの有効種族数 N_{eff} に依存し、初期宇宙の熱史や素粒子を探る上で重要な観測量である。標準理論によれば $N_{\text{eff}} = 3.04$ だが、仮に $N_{\text{eff}} \neq 3.04$ ならば熱いビッグバンモデルを修正したり、新粒子の存在を考える必要が生じる。これまで CMB の観測や極金属欠乏銀河 (EMPG) などの HII 領域の探査からはそれぞれ $N_{\text{eff}} = 2.92^{+0.36}_{-0.37}$ [1] と $2.85^{+0.28}_{-0.25}$ [2] という制限が得られてい

るが、 3σ 程度で $N_{\text{eff}} = 2$ や 4 と見分けられないほど精度が低い。EMPG 探査による N_{eff} への制限は CMB に比べ強いとは言え、 Y_p の測定精度が不十分であることが N_{eff} の決定精度向上の足かせとなっている。そこで我々は 2021 年春よりすばる望遠鏡の可視・近赤外線分光探査 EMPRESS 3D を開始した。これは従来の 5 倍にあたる 30 個の EMPG を観測するもので、統計誤差を従来の半分程に減らす見込みである。さらに近赤外域にある HeI λ 10830 輝線を用いることで電子密度を正確に決定し、 Y_p に含まれる 1% 程の系統誤差も除く。この観測により $\Delta Y_p = 0.0022$, $\Delta N_{\text{eff}} = 0.12$ の精度を達成する計画である。既に IRCS による近赤外線分光観測が 3 天体について行われ、過去の研究のデータと合わせ $Y_p = 0.2436^{+0.0041}_{-0.0041}$ となり、 $N_{\text{eff}} = 2.85^{+0.25}_{-0.25}$ が得られている。一方この過程で、EMPG の He 組成比から Y_p を求める際の関数フィットの手法の違いにより 2σ 程度結果が変化する可能性があることが分かった。本講演では以上の初期結果に加え、新たに判明した系統誤差とその解決法を議論したい。

- [1] Planck Collaboration et al, A&A, 641, A6, 2020
 [2] Hsyu et al, ApJ, 896, 77, 2020

銀河 16

近傍宇宙にある矮小銀河の多波長の性質と遠方銀河への示唆 浦 遼太 (筑波大学 M2)

銀河進化を理解する上で、宇宙再電離時代にある銀河の性質を調べる事は大切である。近年、ALMA により、再電離時代にある銀河で遠赤外の微細構造線である [OIII]88 μm / [CII]158 μm の光度比 (以下 [OIII]88/[CII]158) が約 3-20 と大きい事が分かった。星雲輝線モデルによると、この比は星間媒質の電離状態や化学状態など様々な物理量に依存する。しかし、遠方銀河ではこれらの情報を詳しく調べる事は難しく、光度比が高い理由や光度比が高い天体の特徴を調べられていない。そこで本研究では、近傍宇宙に存在し、遠方銀河に似た性質を持ち多波長データが揃うハーシェル矮小銀河サーベイのアーカイブデータを利用し、[OIII]88/[CII]158 と他の物理量や観測量との相関の確立を目指した。[OIII]88/[CII]158 との相関を調べたパラメータは、sSFR (星形成の活発さ)、O32 (電離パラメータの指標)、[OIII]88 μm / [OI]63 μm (電離、中性ガスの体積比の指標)、ダスト温度、重元素量である。この結果、[OIII]88/[CII]158 が高い天体は爆発的な星形成を行っており、電離パラメータが高い特徴があることを観測から初めて示した。電離パラメータが高い天体は、銀河内部から外部へ電離紫外光子 ($E > 13.6\text{eV}$) を放射しやすいことが知られているため、高

い [OIII]/[CII] を持つ再電離時代の銀河は、再電離を引き起こしやすい状況だった事が示唆される。本発表では、さらに我々のグループが遠赤外成層圏天文台 (SOFIA) で取得したデータも駆使し、世界で初めて [OIII]88/[CII]158 と電離紫外光子の脱出率の関係を定量的に導いた為、その成果と示唆も報告する。[3]

- [1] Authors1, journal1, vol1, pages1, year1
 [2] Authors2, journal2, vol2, pages2, year2
 [3] Authors3, journal3, vol3, pages3, year3

銀河 17

近傍銀河における銀河衝突が星形成に与える影響 藤谷 愛美 (名古屋大学 理学研究科 M1)

銀河の相互作用は銀河の形態や銀河内の環境に影響を与えるため、銀河進化を考える上で非常に重要なプロセスである。相互作用銀河についての研究は多く行われているが、理解できていない部分も多く、銀河内における物理的素過程についての定量的な結論も自明ではない。

我々は相互作用の中でも特に、銀河のあらゆる構成要素に大きな変化を与える銀河衝突における星形成に着目した研究を進めている。Galaxy Zoo Project では、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) の近傍銀河 ($0.005 < z < 0.1$) について画像から視覚的に ‘Merging galaxies’ と分類し、銀河の形態や衝突ステージの分類も行われている [1]。銀河衝突のタイムスケールは ~ 数 10 億年に及ぶとされているため、衝突の初期と末期では銀河の形態やガス、ダストなど諸物理量が大きく異なると考えられる。よって、衝突ステージによる解析から、銀河衝突が星形成に及ぼす変化とその要因を検証することが期待される。本研究では、SDSS からラベルづけられた衝突銀河と非衝突銀河の星形成率についての比較を行った。質量と星形成率の間には正の相関があることから、それぞれの銀河の分布の違いを調べた。また、 $H\alpha$ 線の等価幅や 4000Å break - $H\delta$ の相関 [2] から、非常に最近の星形成と post-starburst の銀河に分類し、衝突ステージによる解析を含めて星形成率の変化を調べた。本発表では、以上の結果を考察するとともに今後の研究展望について議論する。

- [1] D. W.Darg et al., 2010, MNRAS, 401, 1552D
 [2] Guinevere Kauffmann et al., 2003, MNRAS, 341, 33

銀河 18

SCUBA-2+ALMA を用いた明るいサブミリ波銀河のクラスターリング解析

三橋 一輝 (東京大学 D1)

赤方偏移 2-3 で爆発的に星形成を行っているサブミリ波銀河 (以下 SMGs) は、これまでの宇宙の歴史の中で最も星形成が活発な銀河として知られている [e.g., 1]。銀河を取り囲むダークマターハロー (以下 DMH) の質量は、その銀河の星形成活動を調査するのに非常に有用な量であり、統計的にクラスタリング解析という手法から推定できる。シミュレーションの結果では明るい SMGs ほど重い DMH に付随している可能性が示唆されているが [2]、観測的にはサブミリ波単一鏡での角分解能の低さと個数密度の小ささから DMH 質量に正確な制限をつけることが難しかった。

我々はサブミリ波単一鏡 JCMT に取り付けられた広視野カメラの SCUBA-2 とミリ波・サブミリ波干渉計 ALMA を組み合わせて 1.5 平方度におよぶ広い領域をサーベイ観測し、星形成率が $\sim 300 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ 以上の明るい SMGs を 130 天体検出することに成功した [3]。本研究ではこれらの明るい SMGs を用いてクラスタリング解析を行い、その DMH の質量を推定した。得られた明るい SMGs の DMH の質量は $\log M_{\text{halo}} = 12.6 \pm 0.4$ であり、本研究よりも暗い SMGs および一般的星形成銀河に対する結果と差は見られず、SMGs の DMH 質量が ($S_{870\mu\text{m}} \gtrsim 1 \text{ mJy}$ の領域では) そのサブミリ波フラックスに依存しないことが示唆された。講演ではこれらの解析と結果、および結果の解釈について述べる。

[1] Blain et al. PhR, 369, 111, 2002

[2] Yajima et al, MNRAS, submitted, 2020

[3] Simpson et al, MNRAS, 495, 3409, 2020

銀河 19

ALMA を用いた南銀極に位置するサブミリ波銀河の統計的研究

萩本 将都 (名古屋大学 M2)

本講演では、*Herschel* Astrophysical Terahertz Large Area Survey (H-ATLAS) で発見された南銀極に位置する、76 個の明るいサブミリ波銀河に対するアタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) によるフォローアップ観測の結果を紹介する。

我々は H-ATLAS で発見された、南銀極に位置する 85 個の明るい銀河候補天体に対して、ALMA の band3 と band4 による観測を行った。これらの候補天体は、Bakx et al. 2020 により *Herschel* と JCMT/SCUBA-2 による測光観測の結果から、測光赤方偏移が $z \sim 2-4$ と推定されていた。本観測の結果、76 天体で CO、[C I]、 H_2O の輝線の検出に成功し、それぞれの天体の分光赤方偏移を同定した。また、輝線が検出された天体のうち、10 天体は複数個の銀

河に分解されて観測された。そこで、私は各々の銀河に対して、CO 輝線の強度から内部のガスの物理状態を調べた。その結果、ほとんどの天体は Bothwell et al. 2013 で示されている、典型的なサブミリ波銀河に見られる CO スペクトルエネルギー分布に従うことがわかった。一方で、数天体は CO ($J=7-6$) の遷移まで thermalize されており、これらは中心に超巨大ブラックホールなどの活発な熱源の存在を示唆している。また、私は [C I]、 H_2O 輝線と赤外線光度との間の関係を調べた。Valentino et al. 2018 では、近傍の標準的な星形成銀河や爆発的な星形成銀河から、 $z \sim 4$ のサブミリ波銀河に至るまで、赤外線光度にしておよそ 4 桁にわたる [C I] ($^3P_1-^3P_0$) 光度-赤外線光度の関係を示されている。また、Yang et al. 2016 では、近傍の高高度赤外線銀河とサブミリ波銀河に対して、 H_2O 輝線の光度と赤外線光度の間に冪乗の関係があることが示されている。本観測の対象はこれらの中で、最も赤外線光度の大きなサンプルであり、上で述べた関係に従うことがわかった。

銀河 20

すばる HSC サーベイで探る遠方電波銀河の性質 山本 優太 (愛媛大学 M2)

銀河中心部の超巨大ブラックホールの質量と母銀河のバルジ質量との間に正の相関が見られることから、銀河と超巨大ブラックホールは共に進化した (共進化) と考えられている。特に、活動銀河核の中で電波を強く放射している電波銀河は共進化の最終段階であると考えられており、遠方電波銀河探査によって宇宙初期の共進化シナリオの理解が深まると期待されている。しかし、これまでの研究では赤方偏移 $z = 4$ を超す遠方電波銀河は十数天体しか見つかっていない。そこで我々は、大規模遠方電波銀河サンプルの構築と性質の解明を目的とした探査を行った。

本研究では、すばる望遠鏡の可視光広視野カメラ HSC による超広域深撮像観測プログラムである HSC-SSP サーベイのデータから得られた *g*-dropout ライマンブレイク銀河サンプルを使用した。この遠方銀河サンプルと VLA の FIRST 電波広域サーベイのデータとをマッチングさせることで、赤方偏移 4 程度の遠方電波銀河を探査した。その結果、遠方電波銀河の候補が 145 天体得られた。ここで、電波銀河において成り立つ見かけの *K* バンド等級と赤方偏移の相関関係 ($K-z$ 関係) に注目し、これを近赤外線広域サーベイ VIKING のデータを用いて調査した。VIKING-*Ks* バンドの 5σ 限界等級は 21.2 AB Mag であるため、 $z = 4$ の電波銀河全てを個々に検出することは難しい。そこで、VIKING 画像のスタッキング解析を行い、我々の遠方電波銀河サンプルの典型的な *K* バンド等級を算出することで $K-z$ 関係を調査した。その結果、平均的な *K* バンド等級

は 21.6 AB Mag と求めることができ、過去の研究で得られている $K-z$ 関係に合致する結果となり、より信頼のできる遠方電波銀河候補であることが分かった。本講演では、これらの遠方電波銀河候補に対する SED フィッティングの解析についても報告する。

銀河 21

COSMOS2020 カタログを用いた銀河 SED から探る星形成史

杉森 加奈子 (総合研究大学院大学 M2)

銀河の星形成史を明らかにすることは、星の集まりである銀河の進化過程を理解する上で重要である。銀河のスペクトルを種族合成モデルと比較することにより、銀河の年齢や星種族などの物理量を推定することができるため、広い赤方偏移におけるスペクトル進化を詳細に調べることができれば、銀河の星形成史を探ることが可能となる。銀河のスペクトル進化を調べるには分光スペクトルを用いることが最適であるが、分光観測は暗い天体に対して行うことができず、赤外域における深い分光も困難である。一方、撮像観測によるスペクトルエネルギー分布 (SED) は分光スペクトルに比べて離散的であるが、広い波長域かつ赤方偏移を暗い天体まで統計的に調べることが可能である。そこで、本研究では 2 平方度にわたって深い多波長データをまとめた COSMOS2020 カタログを用いて、様々な銀河種族の連続的な SED を構築し、その時間変化から銀河の星形成史を探ることを目標としている。各銀河種族の SED は、ある狭い赤方偏移レンジにある銀河を選択し、それらについて観測波長から静止波長に変換し、各銀河の広帯域測光と狭帯域測光の両方を規格化することで作成している。その結果、 $0 < z < 5$ の銀河に対して、星質量や比星形成率の違いによって SED の形が異なっていることや、SED の分散は星形成銀河では大きい、quiescent 銀河では小さくどれも似たような SED をしていることが明らかになった。さらに、作成した SED を Prospector (Leja et al. 2017) を用いて種族合成モデルと比較し、各時代の様々な銀河種族の物理量を調べた。その結果、銀河年齢の時間変化が星質量に関係していることが明らかになり、低質量の quiescent 銀河では銀河年齢が宇宙年齢に比べてゆっくり変化していることが分かった。発表では他の結果も含めて深く議論する予定である。

銀河 22

静止系紫外から可視までの観測から迫る $z \sim 4.5$ の星形成率関数

浅田 喜久 (京都大学大学院 理学研究科 M2)

銀河の統計的性質を表す観測量の 1 つに星形成率関数 (SFRF) がある。SFRF とは、ある赤方偏移 (以下、 z) において、単位体積あたりの銀河の数を星形成率の関数として表したものであり、その時代の銀河進化の様子を記述する。従って SFRF を様々な z において調べることは、銀河の宇宙論的進化を知る上で極めて重要である。

ところが、 $z \gtrsim 4$ における SFRF は未だによく定まっていない。 $z \gtrsim 4$ では、SFRF は主に星形成率の指標の一つである静止系紫外における観測に基づいて推定されてきた。静止系紫外の光はダストによる減光を激しく受けるためその補正が必要であるが、これもまた静止系紫外における銀河のスペクトルから減光量を推定して補正が行われてきた。しかし近年、静止系紫外とは別の星形成の指標である遠赤外における観測からの推定が可能になると、従来の静止系紫外による推定とは一致しない結果が提示されており、これらとは独立な手法による調査が必要である。

独立な手法の 1 つとして、静止系可視の観測まで含めて推定を行うことが挙げられる。静止系可視の光は静止系紫外に比べてダスト減光を受けにくいいため、静止系可視の観測まで含めることでダスト減光量をより強固に推定することが可能である。そこで本研究では、CANDELS GOODS-S のアーカイブデータを用いて $z \sim 4.5$ の銀河を選出し、静止系紫外から静止系可視までの測光データに対して SED fit を行うことで星形成率を推定した。その結果を基に、ここで用いた銀河のサンプルの incompleteness を適切に補正することで、この時代の SFRF を静止系紫外から可視までの広範な波長域の観測に基づいて導出した。その結果得られた SFRF と従来の SFRF を比較すると、従来の推定に比べ星形成率の大きな銀河がより多く存在する可能性が示唆された。講演では、結果の信頼性を確かめるために行った検証や、この結果から得られる銀河進化の描像も含めて紹介する予定である。

銀河 23

宇宙初期 $z \sim 5$ における大質量銀河探査

岡崎 莉帆 (東北大学 理学研究科天文学専攻 M1)

高赤方偏移の時代に大質量の銀河を発見するということは、最も遠くに存在する銀河、すなわち宇宙で最初に生まれた銀河を発見することと似た意味を持つ。なぜなら、星形成活動をやめた大質量銀河は年老いた星種族によって構成されているため、これらの星が形成され始めたのはさらに数億年前ということになるからである。また、高赤方偏移の時代に既に大質量の銀河が存在するということは、宇宙初期の銀河形成がより早い段階で行われていたことを意味し、これは銀河形成モデルに強い制限を与える重要な証拠

となる。

近年、 $3 \lesssim z \lesssim 4$ に存在する大質量銀河の発見がいくつか報告されている (Glazebrook et al. 2017, Schreiber et al. 2018)。これらの観測によって求められた $3 \lesssim z \lesssim 4$ にある大質量銀河の数密度は、現在の銀河形成モデルで予想される値を上回っており、宇宙初期に予想より多くの大質量銀河が存在したということを示唆している。そこで、我々の研究グループは、この大質量銀河の探査をさらに高赤方偏移 ($z \sim 5$) にまで進めることで、初期宇宙における銀河の形成過程を明らかにしようとしている (Ruby-Rush)。このような大質量銀河を発見するためには、バルマーブレイクと呼ばれる、年老いた銀河のスペクトルで特徴的な構造を捉える必要がある。しかし、地上からは K バンドまでしか観測できないため、これまでは $z \sim 4$ の銀河までしかこのバルマーブレイクを捉えることができなかった。そこで Ruby-Rush プログラムでは、K バンドを3つに分割した中間帯域フィルター (K1,K2,K3) を新たに用いることで、 $z \sim 5$ の銀河のバルマーブレイクを捉えることを可能にした。

現在私は、Ruby-Rush プログラムで取得された原始銀河団領域 (COSMOS, ELAISN1) のデータ解析を行い、 $z \sim 5$ に存在する大質量銀河の検出を進めている。本講演では、高赤方偏移に存在する大質量銀河について報告された論文のレビューを行い、現在私が進めている研究との関連性について紹介する。

[1] Glazebrook, K., Nature, 544, 71, 2017

[2] Schreiber, C., A&A, 618, 85, 2018

銀河 24

g-dropout カタログから Void 銀河の検出を行う深層学習手法 VoidNet の開発

武田 佳大 (東京大学理学系研究科天文学専攻 M1)

銀河の低密度領域である Void 領域では銀河の衝突合体などの環境効果の影響をほとんど受けずに銀河が進化してきたと考えられる。そのため、高赤方偏移にある Void 領域内の銀河はその進化における環境の役割を解明するための理想的なターゲットである。しかし Void 領域を発見するためには非常に広い範囲の銀河を分光観測する必要があり、これまで $z > 3$ を超える高赤方偏移での研究は行われていなかった (Pan et al. 2012, Sutter et al. 2012, Sánchez et al. 2017 and Krolewski et al. 2018)。

本研究では HSC-SSP サーベイで作成された g-dropout カタログ (Toshikawa et al. 2018) から $z \sim 4$ の Void 銀河を選択するために、VoidNet という新しい深層学習手法を開発した。VoidNet は銀河の 3 次元的空间分布として天球上の位置とその色 ($g - r$) を赤方偏移の代用として使用

する。Millennium Simulation (Springel et al. 2005, Guo et al. 2011 and Henriques et al. 2012) を用いて VoidNet を学習させたところ、保守的な閾値 (recall=0.1%) を設定した場合に VoidNet は 90% の精度を達成し、2 次元的な Void 選択を行うよりも約 20% 優れていることが示された (Takeda et al. in prep.)。

この成果は測光データを用いて宇宙の大規模構造を深層学習でより正確に推定できることを示している。今後はこの手法を Void だけでなく Protocluster の検出にも応用し、より大規模なサンプル構築を目指す。

銀河 25

すばる望遠鏡 HSC で探る宇宙再電離非一様性の物理的起源

石本 梨花子 (東京大学 D1)

高赤方偏移のクェーサーで測定される視線上の銀河間物質のライマン α の光学的厚み (τ_{eff}) は、 $z > 5.5$ で分散が大きくなることが観測されており、宇宙再電離が非一様に進行していったことを示している。この τ_{eff} の分散はガス密度のゆらぎのみでは説明できないことがわかっており [1]、他の原因として UV 背景光のゆらぎ、あるいは銀河間物質のガス温度のゆらぎが挙げられている。UV 背景光が原因の場合は中性度と銀河密度は負の相関を、ガス温度が原因の場合は正の相関をとるため、大きな τ_{eff} が観測された場所での銀河密度を調べることで、この 2 つの原因のどちらが支配的であるかを制限することができる。しかしながら、このような観測は過去に 1 つのクェーサー視線についてしか行われていない [2,3]。

本研究では、 $z \sim 5.7$ において $\tau_{\text{eff}} > 5$ を持つ 3 つの高 τ_{eff} 領域において、同時代のライマン α 輝線銀河 (LAE) の探査を行った。各領域で $\sim 5000 \text{ arcmin}^2$ から約 100 個の LAE が選択され、これらの密度分布を調べた。1 領域ではクェーサー視線周囲で LAE が低密度であったが、他の 2 領域では視線周囲で高密度であることがわかった。本講演ではこれらの結果と考えられる非一様性の原因について議論する。

[1] Becker et al., MNRAS, 447, 3402, 2015

[2] Becker et al., ApJ, 863, 92, 2018

[3] Kashino et al., ApJ, 888, 6, 2020

銀河 26

ALMA+ 重力レンズ効果で探る $z=6.03$ のサブミリ波銀河の諸性質

辻田 旭慶 (東京大学 M1)

高赤方偏移銀河の中には、大量のダストに覆われた状態で天の川銀河の数百～数千倍という勢いで爆発的に星形成しているものがあり、これらはサブミリ波帯で明るいのでサブミリ波銀河と呼ばれる。サブミリ波銀河は現在の大質量楕円銀河の祖先であると考えられていたり [1]、内部でダストに埋もれた AGN が成長している可能性がある [2] など、銀河形成や銀河とブラックホールの共進化関係を調べる上で重要な研究対象である。

本研究では強い重力レンズ効果を受けて増光している (増光率 $\mu \sim 9$) $z \sim 6$ のサブミリ波銀河 H-ATLAS J090045 を対象とし、ALMA による CO(12-11)、[OIII]_{88 μ m}、[NII]_{205 μ m}、ダスト連続放射 ($\lambda_{\text{rest}} = 90 \mu\text{m}, 200 \mu\text{m}$) の観測データに対して、GLAFIC[3] を用いた重力レンズモデリングを行い、kpc スケールでこのサブミリ波銀河を空間分解した。その結果、ダスト及び CO(12-11) のソースサイズが [OIII]_{88 μ m} と [NII]_{205 μ m} に比べてコンパクトであること、[OIII]_{88 μ m}/[NII]_{205 μ m} 輝線比が 13.5 ± 1.3 であり、 $z \sim 6$ の時代で既に重元素汚染が進んでいること、輝線の冷却効率と赤外線面輝度との関係が近傍の星形成銀河におけるそれと類似していることを明らかにした。加えて [OIII]_{88 μ m} 輝線データに対して各速度チャンネルごとに像復元し速度場の解析を行うことで、この銀河が大局的に回転していること、及びそこから外れる非回転成分が存在することを示した。

[1] Toft et al., ApJ, 782, 12, 2014

[2] Ni et al., MNRAS, 495, 2135, 2020

[3] Oguri, PASJ, 62, 1017, 2010

銀河 27

ALMA で探る宇宙再電離期銀河の星間媒質と星形成

河原 沙帆 (筑波大学 数理工学物質科学研究群物理学学位プログラム M2)

宇宙再電離期 (宇宙年齢 2~10 億年頃、 $z = 20 \sim 6$) 銀河の理解は、銀河形成・銀河進化を解明する上で重要である。遠方銀河は地上望遠鏡でも観測可能だが、感度や地上という理由から紫外・可視光線領域での分光観測は難しい。そのため現在 ALMA 望遠鏡を使用した遠赤外線微細構造輝線 ([OIII]_{88 μ m} 輝線、[CII]_{158 μ m} 輝線) の研究が進展している。[OIII] 輝線は電離ポテンシャルが 35.1 eV で HII 領域から放射される。一方、[CII] 輝線は電離ポテンシャルが 11.3 eV と比較的低く、HII 領域や PDR から放射される。本研究では、 $z \sim 6.3$ にあるライマンブレイク銀河 SDF-LBG-ID34 の [OIII]_{88 μ m} 輝線、[CII]_{158 μ m} 輝線

そしてダスト連続光の解析結果を報告する。解析の結果、[OIII]、[CII] 輝線光度は $2.59 \times 10^9 L_{\odot}$ 、 $0.40 \times 10^9 L_{\odot}$ を得た。また、[CII] 輝線に対する [OIII] 輝線の輝線光度比は 6.5 となった。この高い光度比は [OIII]_{88 μ m} 輝線が遠方銀河の観測に有効であることを示しており、過去の high- z 天体に共通して見られた特徴 (e.g, Bakx et al. 2020) と一致していた。また、Ly α 輝線が [OIII]、[CII] 輝線に対しておよそ 150 km/s 赤方偏移したことも分かった。ダスト連続光は未検出であり、ダスト質量の 3σ 上限値は $1.05 \times 10^7 M_{\odot}$ が得られた。(ダスト温度 50 K、ダスト吸収率 $0.11 \text{ m}^2/\text{kg}$ を仮定) さらに興味深いことに、[OIII]、[CII] 輝線のスペクトルは単純なガウス関数から外れることが分かった。速度マップ (moment map) でも同様にこの銀河の速度構造が見えている。本講演では、輝線プロファイルについて銀河の回転や合体の観点から議論する。

銀河 28

ALMA を用いた赤方偏移 $z = 6$ にあるキューサーの [OI] 63 μ m 輝線観測と星間媒質の性質の解明 石井 希実 (筑波大学数理工学物質科学研究科 M2)

なぜ宇宙初期に超巨大ブラックホールが存在するかは、現代天文学において重要な未解決問題の一つである。超巨大ブラックホールとその母銀河は共進化していることが分かっているため、遠方のキューサーを詳しく観測することが重要である。ALMA によって、遠方キューサーの遠赤外線微細構造輝線 (中性ガス領域から放射される [CII] 158 μ m や、電離領域から放射される [OIII] 88 μ m など) の研究が盛んに行われている。より多くの輝線を調べることで、母銀河の星間媒質の性質を理解できるが、そのような研究例は限られていた。特に [OI] 63 μ m 輝線は、[CII] に比べて暖かく ($T > 229 \text{ K}$) 比較的に高密度 ($n < 2.5 \times 10^5 \text{ cm}^{-3}$) な中性ガスから放射され、[CII] などと組み合わせることで中性ガスの詳細な情報 (紫外輻射場とガス密度) を理解できるため重要である。そこで本研究では、 $z \sim 6$ にあるキューサー J2054-0005 の [OI] 63 μ m 輝線の有無を初めて調べ、先行研究で得られた他の輝線 ([CII]、[OIII]、CO) の情報とも組み合わせることで、母銀河の星間媒質の性質を明らかにすることを目的とする。J2054-0005 の [OI] 63 μ m 輝線は未検出であり、 3σ 上限値 ($3.42 \times 10^9 L_{\odot}$) を得た。他の輝線光度および遠赤外線光度との比は、 $L_{\text{[OI]63}\mu\text{m}}/L_{\text{[CII]158}\mu\text{m}} < 1$ 、 $L_{\text{[OI]63}\mu\text{m}}/L_{\text{FIR}} < 4 \times 10^{-4}$ 、 $L_{\text{[OIII]88}\mu\text{m}}/L_{\text{[OI]63}\mu\text{m}} > 2$ (3σ) であった。光度比を $z = 0 - 4$ の銀河や $z = 6$ のサブミリ波銀河と比較したところ、特に $L_{\text{[OI]63}\mu\text{m}}/L_{\text{FIR}}$ は、遠方 ($z > 1$) 天体の中で個別天体としては最も低く、興味深い結果となった。本講演では、Photodissociation region (PDR) モデリングの結果も紹介しつつ、本天体の特徴を議論する。

銀河 29

深層学習を用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測

平島 敬也 (東京大学 理学系研究科天文学専攻 M2)

銀河形成シミュレーションでは、 N 体/Smoothed particle hydrodynamics (SPH) 法や moving mesh 法/adaptive mesh refinement を用いて計算するが、現状のアルゴリズムでは、十分な並列化効率が達成できる並列度に限界がある。例えば、重力だけで相互作用する粒子 (ダークマター粒子と恒星粒子) と、流体力学相互作用する粒子 (SPH 粒子) の 3 種類の粒子を用いる N 体/SPH 法による最高解像度のシミュレーションでも、 10^8 個程度の粒子で銀河を表しており、典型的な質量分解能は $10^3 M_\odot$ 程度に止まっている。

我々は、スーパーコンピュータ「富岳」を用いて、個々の星まで分解した高解像度銀河形成シミュレーションの達成を目指している。しかし、一部のタイムスケールの短い現象 (超新星爆発など) が、他の全ての粒子の時間積分に必要な演算・通信回数を数百倍に増大させ、現実的な時間内でのシミュレーション実行を不可能にしている。本研究では、演算・通信回数を減らすため、銀河内の時間刻みが短くなる領域 (超新星爆発など) を孤立系で計算する手法を試みている。そのためには、超新星爆発によるシェルが膨張し、時間刻みが短くなる領域、もしくは粒子を事前に予測する必要がある。そこで、将来の映像を予測する深層学習モデル Memory-In-Memory Network [1] を元に、シェル膨張に伴うガス密度変化を予測する深層学習モデルを開発した。このモデルでは、物理量の 3 次元分布を与えると、将来の 3 次元分布が予測可能である。そのため、超新星爆発直前の 3 次元密度分布だけを入力として、シェル膨張による 3 次元密度変化が予測可能である。また、爆発後 0.2Myr の密度変化が予測可能であり、予測結果は 1 秒以内で出力される。本講演では、開発したモデルを用いた超新星爆発によるシェル膨張の予測の精度・実行時間等について報告する。さらに、時間刻みの短い粒子を孤立系で計算する手法と、銀河形成シミュレーション高速化の展望について述べる。

[1] Yunbo Wang, Jianjin Zhang, Hongyu Zhu, Mingsheng Long, Jianmin Wang, Philip S Yu, 2018, arXiv:1811.07490 [cs.LG]

銀河 30

天の川銀河 N 体シミュレーションにおける位相空間分布分布の時間変動と共鳴軌道

朝野 哲郎 (東京大学 D1)

ESA の位置天文衛星 *Gaia* [1] の観測によって、天の川銀河内の星の詳細な位相空間分布が明らかになってきている。我々は、*Gaia* の観測データと天の川銀河の大規模 N 体シミュレーション [2] データを比較し、星の位相空間分布と共鳴軌道の関係を調べてきた。先行研究においては、シミュレーションの最終スナップショットを詳細に解析することによって、*Gaia* によって観測されている Hercules stream などの速度空間サブ構造がバーの共鳴軌道によって作られている可能性が高いことを示した [3]。本研究においては、速度空間分布の時間変動を調べるために、Kullback-Leibler divergence (KLD) と呼ばれる指標を用いて、実際に観測された太陽系近傍の星の速度空間分布とシミュレーション内の粒子の速度空間分布の類似度を定量的に評価した。シミュレーションにおいては、常に同じ場所で、観測に類似した (KLD が小さい) 分布が見られるわけではなく、速度空間分布は大きな時間変動を示していた。ただし、KLD が小さい分布が見られる場所は、完全にランダムではなく、銀河中心からの距離 $R \sim 8$ kpc、バーの長軸に対する角度 $\phi \sim 30^\circ$ 付近などの特定の領域では出現確率が高いことがわかった。以上の結果は、実際の天の川銀河においても位相空間分布の大きな時間変動が起こっていること、さらに、時間変動ある場合においてもバーの共鳴軌道が星の位相空間分布に対して大きな影響を与えていることを示唆している。

[1] Gaia collaboration et al., A&A, 649, A1, 2021

[2] Fujii et al., MNRAS, 482, 1983, 2019

[3] Asano et al., MNRAS, 499, 2416, 2020

銀河 31

HSC と *Gaia* データを用いた銀河系ハローサブ構造の恒星種族と運動

鈴木 善久 (東北大学 理学研究科天文学専攻 M1)

銀河系 (MW) の恒星系ハロー内には恒星ストリームや Overdensity などのサブ構造が存在し、これらは MW の形成史を探るための重要な鍵となる。サブ構造の特徴には MW ハローの形成に大きな影響を与えた過去の矮小銀河の合体・降着イベントの情報が反映されている。特に、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) のデータが公開されて以降、サブ構造の研究が観測的側面から注目されるようになった。SDSS の広範囲の系統的な測光観測によって発見されたサブ構造の 1 つに Virgo OverDensity (VOD) がある。VOD は、射手座矮小銀河が MW に降着した際に潮汐力で引き伸ばされたことで形成された Sagittarius stream 内にある Overdensity であると考えられている。しかしその恒星種族の特徴や MW ハロー空間内の運動に関しては未解明の部

分が多い。

私たちはこれらを紐解くために、Hyper Suprime-Cam (HSC) と Gaia 衛星で取得されたデータを組み合わせて研究を行った。HSC と Gaia の測光データに対して Isochrone fitting を行い、VOD の年齢や金属量など恒星種族に対する制限を与えた。その結果、VOD の領域内で恒星種族に空間勾配があることが確認された。本講演では、それらの恒星種族と progenitor である射手座矮小銀河の恒星種族を比較し、その関係性について言及する。

また、この領域内には青色水平分枝星 (BHB) の候補星が統計的に確認されており、それらに対しては距離推定も行われている (Fukushima et al. 2018, 2019)。これらを Gaia データと組み合わせることで、距離と固有運動の情報をもつ BHB が得られ、そこから VOD の接線速度を求めた。本講演では、この結果を Law, Majewski (2010) による Sagittarius Tidal Stream モデルと比較し、progenitor である射手座矮小銀河の過去の軌道運動に対して観測的制限を与える。

銀河 32

すばる望遠鏡 HSC 用挟帯域フィルター NB515 で探るアンドロメダ銀河恒星ハローの構造 小上 樹 (法政大学 修士 2 年)

銀河のハロー部は、銀河形成初期からの古い天体や矮小銀河の降着痕など銀河形成史に関する重要な天体が存在している。特に、銀河系近傍にあるアンドロメダ銀河 (M31) のハローは、全体を恒星に分離して俯瞰的に観測できるため、銀河形成を理解するための格好のターゲットである。しかし、M31 は銀河面近くに位置するため、M31 の星を観測する際には前景にある銀河系主系列星が最大で 70% も紛れ込んでしまい、M31 ハローの詳細な構造を明らかにすることは困難であった。

本研究では、すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam 用の挟帯域フィルター (NB515) を用いた観測データより、M31 の恒星ストリームの 3 次元的空間分布を調べた。主系列星と赤色巨星の間には表面重力に違いが生じており、その表面重力の違いは MgH、Mgb の吸収線の形状に違いが現れることが知られている [1]。この MgH、Mgb の吸収線は NB515 でカバーされている波長域であるため、NB515 を用いた二色図を使用することで前景にある銀河系主系列星を除去することができる。このようにして銀河系主系列星を除去した M31 ハロー星の純正サンプルの密度分布より、M31 ハローのストリームやシェル・クランプ構造が確認できる。本公演では、NB515 を用いて構築した M31 ハロー星の純正サンプルをもとに推定した M31 で見つかっている 7 個の恒星ストリームの距離推定の結果を報告する。主要な結果は

下記ようになる。

- (1) 東側に位置する 2 つのストリーム (Stream C & Stream D) ・東側にあるシェル構造 (Eastern Shelf) ・南側にあるクランプ構造 (G1 Clump) は M31 が位置する 785kpc よりも後方 (~800kpc) に分布していた。
- (2) Giant Stellar Stream (GSS) では、中心付近は M31 の手前 (~770kpc) にあり、中心から遠ざかるにつれて M31 の後方 (~800kpc) に分布をしていた。
- (3) 北西に位置する恒星ストリーム (NW Stream) ・西側にあるシェル構造 (Western Shelf) に関しては、M31 の手前 (~770kpc) に分布していることがわかった。

1. Lee et al. M. G., Freedman, W. L. & Madore, B. F. 1993, ApJ, 417, 553

銀河 33

銀河団ガスから放射される複数の重元素輝線に対する共鳴散乱の定量的評価 岡戸 悠一郎 (東邦大学大学院 M2)

宇宙には、多くの天体が階層構造をなして存在している。その中でも自己重力系として宇宙最大である銀河団は、宇宙の構造形成の歴史を反映していると考えられる。銀河団は質量比で主に数 % の銀河、約 15% のガス、約 80% ダークマターによって構成されており、本研究ではダークマターの次に多く存在する銀河団ガスについて着目する。

銀河団ガスは温度が $10^7 \sim 10^8$ K 程度の高階電離ガスである。一般に銀河団は光学的に薄いですが、He 型の重元素イオンに対しては、散乱 (共鳴散乱) の効果が無視出来ない事が示唆されている。共鳴散乱の度合いを示す光学的厚さは、各重元素輝線の種類と視線に存在するガス運動に依存することから、共鳴散乱はフラックスや輝線の形状に影響を与える。したがって共鳴散乱の効果を定量的に評価する事は、観測技術の向上に伴って重要である。

2016 年に打ち上げられた Hitomi 衛星によって、ペルセウス銀河団の中心部では He 型 Fe の共鳴線に対して共鳴散乱の兆候が観測された [1]。しかし銀河団外縁部の直接観測や、Fe 以外の重元素の観測は十分に達成されておらず、次世代 X 線分光撮像衛星 (XRISM) や Athena 衛星などの観測によって、遠方を含めた銀河団のガス運動や組成をより正確に解明することが期待される。

本研究では、Fe の他にも光学的に厚くなる可能性がある、O, Ne, Mg, Si 等の重元素の共鳴線に対して、ガス運動と共鳴散乱効果を考慮した輻射輸送方程式を解くことにより、共鳴散乱と銀河団ガスの関係性を調べる。また将来的な観測の理論予言を行う。

1. Hitomi collaboration, PASJ, 70, 10, 2018b

銀河 34

近傍銀河団 Abell 262 銀河団の重元素と銀河光度比

近藤 麻里恵 (埼玉大学大学院 理工学研究科 M1)

銀河団は、銀河が数十から数千個集まった重力的に束縛された宇宙最大の天体である。銀河団内は温度数千万度程度の高温ガスで満たされ、X線を放射している。高温ガスには様々な元素が含まれており、これら重元素は構成銀河内の恒星内部や超新星爆発によって合成され、高温ガス内に供給された。銀河団を構成する主な銀河は、古い星が主体となっている楕円銀河である。近赤外線による観測を用いると、銀河団を構成する楕円銀河の光度から銀河の質量とその分布を推定することができる。よって、高温ガス内に存在する元素量と過去に元素を生成した構成銀河の分布を比較することにより、どのように銀河団ガス内に元素が供給されていたかを知ることができる。本研究では、X線天文衛星「すざく」による観測と Two Micron All Sky Survey (2MASS) による近赤外線観測結果を用いて、近傍銀河団 Abell 262 の高温ガスに含まれている重元素 (鉄) の質量と銀河団を構成する銀河の光度の比を調べた。Abell 262 の高温ガスに含まれている鉄の分布は銀河の分布よりも広がっており、銀河は鉄を放出した後、銀河団中心方向に集まったと考えられることが分かった。また、Abell 262 の鉄質量-銀河光度比は、宇宙年齢の間に Ia 型超新星が現在と同じ発生率で発生していたと仮定して計算した鉄質量-銀河光度比よりも大きかった。このことから、過去における Ia 型超新星の発生率は現在よりも高かったと考えられることが分かった。

銀河 35

初期の衝突銀河団 CIZA J1358.9 -4750 における衝撃波の X 線および SZ 信号の比較

大宮 悠希 (名古屋大学 理学研究科 素粒子宇宙専攻 M1)

宇宙は誕生以降、物体の衝突と合体を繰り返し成長しており、特に宇宙最大の自己重力系を持つ銀河団同士の衝突では巨大なエネルギーが解放される。その初期段階では、衝突によって2つの銀河団の間に高温・高圧の領域が形成され、これが銀河団全体を覆う衝撃波へと時間発展してゆくとされているが、まさにその瞬間を見ていると考えられる天体は少ない。 $z=0.07$ と近傍に位置する銀河団 CIZA J1358.9 -4750 は、北西と南東に存在する質量比がほぼ1の銀河団同士が衝突して間もない初期の衝突銀河団であることがわかっており、「すざく」の観測データにより2つの銀河団の中央に高温・高圧領域が見られマッハ 1.3 前後の衝撃波の

存在が示唆されている (Kato et al. 2015)。我々は銀河団ガスがマイクロ波背景放射を叩き上げる SZ 効果が nT に比例するのにに対し、熱的制動放射 X 線が $n^2T^{1/2}$ に比例する特徴を用いて CIZA J1358.9 -4750 の3次元構造を探ろうとしている。

本研究では XMM 衛星から得られた CIZA J1358.9 -4750 の観測データを用い、北西と南東に存在する2つの銀河団に対し衝突影響を受けていない領域における圧力分布を作成した。これを衝撃波領域に外挿して、X線のデータに加え Planck 衛星から得られた SZ 信号と比較した。結果、SZ 信号でも中央の高温・高圧領域で明らかに超過が見られ、さらに北東と南西に向かって伸びる形を持つことがわかった。X線でも同様に中央の高温・高圧の領域やそこから equatorial 方向へ広がる成分の空間広がり捉えており (Kato et al. in prep)、SZ の圧力超過成分の強度と空間広がりと比較して、衝撃波領域の構造を探った。

銀河 36

NuSTAR 衛星による RX J1347.5-1145 銀河団の硬 X 線観測

柴田 実桜 (奈良女子大学 人間文化総合科学研究科数物科学専攻 M1)

銀河団は、自己重力系として宇宙最大の天体であり、銀河団同士の衝突合体現象では、莫大なエネルギーが解放される。するとそのエネルギーにより、銀河団を満たすガスの加熱にとどまらず、粒子加速が行われる。このような状況下では、逆コンプトン放射という非熱的な放射が起こり、硬 X 線領域で観測されると予想されている。しかし、熱的な放射が支配的で、どの銀河団からも未だ明確な検出例はない。衝突銀河団の硬 X 線放射由来の理解は、宇宙の構造や進化の理解に繋がる。そこで本研究では、RX J1347.5-1145 銀河団 ($z = 0.45$) に注目し、NuSTAR 衛星の観測から硬 X 線放射由来を調査することを目的とした。この天体は、多波長観測から 20 keV を超える超高温ガスが見つかり、衝突して間もない系であると示唆されている [1][2]。また、すざく衛星による広帯域観測から、硬 X 線は主に熱的な放射で説明出来る。非熱的な放射成分については上限値が与えられた [1]。

微弱な非熱的放射を捉えるためには、硬 X 線に対する高感度の観測に加え、正確なバックグラウンドの差し引きや熱的成分との分離が鍵となる。そこで、硬 X 線の集光能力が高く、更に硬 X 線の撮像機能を有する NuSTAR 衛星で取得した約 100 ksec の観測データを用いた。また、望遠鏡の aperture 成分をはじめ、バックグラウンドを精度良く見積もるためにシミュレーションを行なった。その結果、今までにない高エネルギーまで硬 X 線放射を検出した。更に、検出された放射成分を特定するためにモデルフィット

を実行し、1 温度の熱的放射モデルでは説明できない成分を硬 X 線領域で確認した。本講演では、得られた結果から RX J1347.5–1145 銀河団の放射由来について議論する。

1. Ota, N. et al., 2008, A&A, 491, 363
2. Kitayama, T. et al., 2004, PASJ, 56, 17

銀河 poster1

銀河系衛星銀河の近点分布と潮汐破壊との関係 田中 駿次 (筑波大学 数理解析学群物理学 学位プログラム M1)

我々が住む銀河系には、その重力ポテンシャルによって束縛された衛星銀河がこれまでに 50 個程度発見されている。ヨーロッパ宇宙機関による位置天文観測計画「Gaia」では銀河系の恒星の運動を観測する中で、銀河系衛星銀河についての 6 次元位相空間のデータが得られ Gaia Data Release (GDR) としてデータが公開された。Miki, Mori & Kawaguchi, 2021 では GDR2 のデータ (Helmi et al. 2018, Fritz et al. 2018) を基に衛星銀河の軌道についての高精度軌道積分シミュレーションが行われた。このシミュレーションでは銀河系衛星銀河 32 個についての軌道近点距離と軌道周期の関係が得られた。近点距離と軌道周期の関係を調べた結果、近点距離がおよそ 10kpc 以下になる衛星銀河がほぼ存在していないことが明らかになった。銀河系の重力場中において衛星銀河の自己重力が優勢となる範囲から、衛星銀河の潮汐破壊が起こる距離を見積もった。潮汐破壊とは衛星銀河の自己重力に比べて銀河系による重力が大きくなった場合、衛星銀河が潮汐力によって破壊される現象である。我々は先行研究より詳細な潮汐破壊半径の解析を行った。その結果 MW の潮汐破壊半径は、衛星銀河の質量に応じて 9kpc から 15kpc 程度となることを見出し、これにより観測された軌道近点距離と周期の関係を説明できることを確認した。

本研究は「潮汐破壊」に着目し、N 体シミュレーションによる数値解析を行っている。衛星銀河は力学的平衡状態を与えるモデルとして Plummer モデルを採用し、総質量は $10^9 M_{sun}$ とした。この衛星銀河に銀河系のダークハローと銀河の重力を外場として与え、初期条件の異なる衛星銀河の軌道運動、密度分布の時間変化を調べた。シミュレーションの結果、近点が銀河中心に近いほど、衛星銀河の密度低下が著しくなり、解析的な見積もりと矛盾の無いことが分かった。このことから銀河系の衛星銀河の近点分布が潮汐相互作用の結果であるということを読み出した。

銀河 poster2

銀河衝突とアンドロメダ銀河の構造と力学進化

堀田 彩水 (筑波大学 宇宙物理理論研究室 M1)

アンドロメダ銀河 (M31) にはアンドロメダストリーム (AGS) や 2 重リング構造といった銀河衝突の痕跡と見られる構造が近年の観測により見つかった。

AGS は M31 の中心から細長く恒星が分布する巨大構造で、衛星銀河との衝突で形成された (Fardal et al. 2007; Mori & Rich 2008)。また、この衝突に伴う力学的な加熱が円盤に与える影響と現在の円盤の厚さの制限から、衛星銀河の質量は $5 \times 10^9 M_{\odot}$ 以下とされている。さらに、この衛星銀河は円盤銀河であった可能性が高い (Kirihara et al. 2014)。Block et al.(2006) は、Spitzer Space Telescope の赤外線カメラ (IRAC) により M31 にガスとダストでできた 2 重リング構造を発見し、衛星銀河の M32 が過去に head-on 衝突してその構造ができたことを主張している。

しかし、これにはいくつかの問題点がある。一つは、彼らのシミュレーションは sticky-particle 法を用いており、流体方程式を解いているわけではないこと。さらに衝突した当時の M32 の質量は M31 の全質量の 10 分の 1 程度 ($10^{10-11} M_{\odot}$) と主張しているが、このような大質量の銀河が衝突した場合、円盤加熱によりその厚さが増大し、現在の観測と矛盾する事になる (Mori & Rich 2008)。

そこで我々は Mori & Rich(2008) により行われた計算にガスの流体力学計算を導入する。そしてこのシミュレーションを行うことで AGS だけでなく 2 重リング構造が同時に形成された可能性について考えていく。本発表では Mori & Rich(2008) と Block et al.(2006) の二つの論文のレビューを行い、さらに現段階での研究の進捗の報告もする。

銀河 poster3

ダークマターハローのユニバーサルスケール ング則

金田 優香 (筑波大学宇宙物理理論研究室 修士 1 年)

“The connection between the cusp-to-core transformation and observational universalities of DM halos” [1] のレビューを行う。

コールドダークマターモデルは天体形成の標準モデルとして考えられている一方で、理論と観測の間の深刻な矛盾が指摘されている。その一つに、シミュレーション結果と観測との間でダークマターハロー中心部の密度分布が矛盾するという問題 (カस्प・コア問題) がある。シミュレーションではダークマターの密度分布は NFW プロファイル [2] に代表されるようなカस्प型 (中心で質量密度が発散する分布) になり、観測ではコア型 (中心密度一定) である。この矛盾を解決する考えとして、初期にカस्प型だったダークマターの中心密度分布がコア型に変化するというバリオン

による力学進化シナリオ (カスプ・コア遷移) が挙げられる。

また、ダークマターハローには密度や半径、質量の間に普遍的なスケリング則があることが知られている。ハローの質量が小さい範囲 (矮小銀河のダークマターハロー) で成り立つスケリング則がいくつかあり、例えば、ハロー中心から 300pc 以内の質量が一定であること、(Strigari relation[3])、ダークマターハロー中心部の面密度 μ_{0D} が一定であること (μ_{0D} relation[4])、がある。

本論文では、ダークマターハローの中心付近の質量分布がカスプ型からコア型に変化する力学的過程が μ_{0D} relation を自然に導くこと、コア型のダークマターハローの中心密度がハローの形成時期を知るための情報を含むこと、矮小銀河の質量範囲で Strigari relation と μ_{0D} relation は一致するが、大きい質量の範囲では μ_{0D} relation が観測を再現することを指摘している。

本研究の発展として、銀河団のような大きい質量範囲にも適用可能なスケリング則を、最新の観測データや理論シミュレーションに基づいて議論することは大変興味深いため、今後検討していく予定である。

1. Ogiya G., Mori M., Ishiyama T., Burkert A., MNRAS, 440, L71, 2014
2. Navarro J.F., Frenk C.S., White S.D.M., ApJ, 490, 493, 1997
3. Strigari L.E., Bullock J.S., Kaplinghat M., Simon J.D., Geha M., Willmann B., Walker M.G., Nature, 454, 1096, 2008
4. Kormendy J., Freeman K.C., in Ryder S.D., Pisano D.J., Walker M.A., Freeman K.C., eds, Proc. IAU Symp. 220, Dark Matter in Galaxies. Astron. Soc. Pac., San Francisco, p.377, 2004

銀河 poster4

high- z の銀河における core-cusp 問題 片山 諒介 (大阪大学 宇宙進化グループ M1)

本講演では core-cusp 問題に関する論文 (Dekel et al., 2021[1]) をレビューする。core-cusp 問題とは、銀河の中心領域におけるダークマター (DM) 質量密度分布を $\rho \propto r^{-\alpha}$ で近似した時に、DM のみの N 体シミュレーションからの結果では $\alpha \sim 1$ となるのに対し、近傍の矮小銀河の観測では $\alpha \sim 0$ の銀河が多いという問題である [2]。つまり、シミュレーションでは cusp、観測では core 質量分布になっているということである。

本論文では特に赤方偏移 $z \sim 2$ の core に注目している。この時期には大質量銀河 ($\gtrsim 10^{12} M_{\odot}$ 、 $R_{\text{virial}} \sim 150 \text{kpc}$) のうち、3 分の 1 に半径が $\sim 10 \text{kpc}$ の core が観測されてい

る。この high- z 大質量銀河における core は今まで考案されてきたバリオンフィードバック [3][4][5] を含めたシミュレーションでも再現されていなかった。本論文では、伴銀河が宿主銀河の中心領域で合体する時の dynamical friction によってその領域が力学的に温められ、その後続く AGN outflow によって質量がまき散らされて core になるというシナリオに対し、解析的・準解析的モデルを用いて core 形成の条件を示した。その条件とは、主に宿主銀河の中心に落ち込む伴銀河が十分に compact なことである。ここで伴銀河の compact さは、その halo の質量密度分布を Dekel Zhao profile[6] でフィッティングしたときのパラメータで判断する。他の必要条件として、伴銀河たちが少しずつではなく一斉に落ち込むことなども挙げられている。これらの条件が満たされないと、dynamical friction による heating が不十分となるからである。また、これまでのシミュレーションが観測と整合的でない原因として、compact な伴銀河の中心の clump 内 ($\sim 1 \text{kpc}$) をきちんと分解できていないことなどのシミュレーション自体の問題点も挙げている。

1. Dekel et al. [arXiv:2106.01378]
2. James S. Bullock, Michael Boylan-Kolchin, ARA&A, 55, 343-387, 2017
3. Dekel A., Devor J., Hetzroni G., MNRAS, 341, 326-342, 2003
4. El-Zant A., Shlosman I., Hoffman Y., ApJ, 560, 636-643, 2011
5. Peirani et al., MNRAS, 472, 2153-2169, 2017
6. Dekel et al., MNRAS, 468, 1005-1022, 2017

銀河 poster5

局所銀河群の矮小楕円体銀河における質量-金属量関係の調査

松井 瀨奈 (名古屋大学 理学研究科 M1)

宇宙には、約 $10^5 - 10^7$ 太陽光度の明るさを持つ、矮小楕円体銀河 (dwarf spheroidal) と呼ばれる極めて暗い銀河が存在する。この 10^5 太陽光度という数値は、はくちょう座のデネブ (α Cyg) などの極めて明るい単独星と同程度の明るさである。このように淡い天体であるが故に、1930 年代後半になってようやく発見された。矮小楕円体銀河は一般に現在は星形成が起きておらず、星間物質が極めて少ない。さらに、暗黒物質が大量に存在するという示唆が得られている (e.g., Mateo, 1998[1] and Strigari, 2018[2])。

本研究ではこれらのビリアル質量および星質量と金属量との関係を調べることにより、矮小楕円体銀河の星形成史・化学進化史を探ることを目的とする。矮小楕円体銀河については $[\text{Fe}/\text{H}]$ がほぼ唯一の金属量指標であり、金属量指標と

してこれを採用した。[Fe/H] は星種族の金属量を測る指標であり、ガスの金属量の指標である $12 + \log(O/H)$ とは星形成史への依存性が一般に異なる。

このような [Fe/H] を用いた力学質量-金属量関係としては、先行研究として Tamura, Hirashita, & Takeuchi, (2001)[3] を参照。 $12 + \log(O/H)$ を用いたガスリッチな矮小銀河の研究は最近増えているが、[Fe/H] を用いた研究は依然として少なく、また星質量についての研究がほとんどである (e.g., Kirby et al. 2013[4])。本研究では Suda et al., (2017)[5] の Table 1. に掲載されている全 25 天体を用いて [Fe/H] による恒星種族の金属量を更新し、Tamura, Hirashita, & Takeuchi, (2001)[3] および Kirby et al. (2013)[4] の結論の再検証を行う。

1. Mateo, Mario L., A&A, 36, 435, 1998
2. Strigari Louis. E., Reports on Progress in Physics, 81, 056901, 2018
3. Tamura, N., Hirashita, H., & Takeuchi, T. T., ApJ, 552, L113, 2001
4. Kirby, E. N., et al., ApJ, 779, 102, 2013
5. Suda, T., et al., PASJ, 69, 76, 2017

銀河 poster6

銀河 NGC1068 での原子輝線の観測結果に関するデータ解析と電波の分布図の考察 渡邊 友海 (福島大学大学院 M1)

1 目的

アルマ望遠鏡で観測した中性炭素原子輝線に関するデータ解析を行い、電波の分布図を考察することで、宇宙にある分子や原子がどのような運動をしているかを調べることを目的とする。

2 研究内容

活動的な中心核 (AGN と呼ぶ) を持つ、銀河 NGC1068 (別名メシエ 77) を対象とする。

NGC1068 には、中心部を取り巻くリング状のガスが濃い場所があり、そこは大質量星が多数形成する爆発的星形成 (SB と呼ぶ) 領域となっている。銀河における星間分子の組成、反応、そして天体现象との関連を調べるためには、AGN 及び SB の影響を明らかにする必要がある。

アルマ望遠鏡での観測点は、NGC1068 の中心部、リング状の SB 領域 (SB ring と呼ぶ) 内の南西部、そして、SBring 内の CH₃OH のスペクトル線が特異的に強い東部の 3 か所である。

観測された原子輝線から、3 つの観測点の積分強度図 (Moment 0 map)、視線速度図 (Moment 1 map)、視線速度分散図 (Moment 2 map) をそれぞれ作成した。積分強度図

では全体像、視線速度図では速度の変化、視線速度分散図ではどこで運動が激しいかが分かる。また、特定の位置のガスの速度を知るために、Position-velocity 図 (PV 図と呼ぶ) を作成した。[1]

3 研究結果及び考察

中性炭素原子輝線の観測結果によると、中心部は局所的に高速的で激しい運動が見られる。これは AGN 周辺から吹き出すガスの影響によるものと考えられている。SBring 内の南西部はリングに沿って、ゆるやかな速度勾配が見られる。SBring 内の CH₃OH のスペクトル線が特異的に強い東部では著しく激しい運動が見られる。別々の速度が 2 つあり、ここでガスが衝突している可能性がある。

1. 高野秀路, 中島拓, 河野孝太郎ら, 日本大学工学部 学術研究報告会 総合教育部会, 2020

銀河 poster7

反響マッピングと活動銀河核のブラックホール質量 宮崎 亮 (新潟大学 宇宙物理学研究室 M1)

活動銀河の中心部領域には大質量ブラックホール由来すると考えられている大きなエネルギーの放射が見られる活動銀河核 (AGN) が存在している。AGN の特徴として幅の広い輝線が挙げられるが中心核のブラックホール近傍に存在する広輝線領域 (BLR) が輝線の源となっている。中心核からの連続光の紫外電離光子を BLR が吸収し再放射を行うなど中心核と密接に関係していて、中心核の情報を BLR から間接的に得ることができる。

中心核の連続光の時間変動に対する BLR の輝線の応答は光の伝播時間の効果を受けて遅延する。この遅延を利用した反響マッピングを用いることで高い分解能を必要とせずに BLR の大きさや構造の推定が可能になる。反響マッピングから得られる BLR のサイズと輝線の線幅から得られる速度分散を活用してピリアル定理から中心核のブラックホールの質量を見積もることができる。

本発表では反響マッピングの原理 [1] について説明し、複数の AGN に対して実際にブラックホール質量を算出した [2] の結果についてのレビューを行うこととする。

1. Peterson,1993, PASP,105,247
2. Peterson,2004, IAUS,222,15

銀河 poster8

NuSTAR による Centaurus A の硬 X 線反射成分の解析

岩田 季也 (東京大学 理学系研究科物理学専攻 M1)

電波銀河は活動銀河核を有する銀河の一種であり、ジェットと降着円盤を持つ。これらはどちらも X 線帯域の放射に寄与すると考えられており、放射起源の特定は、降着円盤とジェットの関係に迫る上で重要な課題となっている。Centaurus A (Cen A) は我々から最も近い電波銀河であるため、X 線の放射起源の調査に適している。Cen A の硬 X 線の主要な成分として、ガンマ線につながるジェット起源と、降着流起源が検討されているが決着はついていない (e.g. [1])。これらの説の検証には、複数期間の観測データの解析や、降着流起源の場合に生じるとされる硬 X 線帯域でのスペクトルのカットオフの検出が有効だと考えられている。電波銀河の系統的解析 [2] では、硬 X 線帯域に高い感度を持つ *NuSTAR* による Cen A の 3 期間の観測データからカットオフを求めている。しかし、カットオフの検出に影響を与える反射の連続成分と鉄輝線はまとめて扱われていない。

そこで本研究では、これら 3 期間 (2013 年; 観測時間 51 ks, 2015 年; 23 ks, 2018 年; 17 ks) のデータを、反射成分に着目し、クランピートラスモデル (XClumpy; [3]) を用いて解析した。その結果、傾斜角を 80° に固定し、反射成分と冪乗成分の変動のタイムスケールの違いを考慮すると、赤道面の水素柱密度 $\sim 2 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ 、角度幅 $\sim 30^\circ$ のとき、反射の連続成分のハンプは見えないが鉄輝線が見えるという特徴を説明できることがわかった。本講演では、光子指数などのパラメータの変動を含む解析結果の詳細を報告し、硬 X 線の放射起源について議論する。

1. Fürst, F., Müller, C., Madsen, K. K., et al., *ApJ*, 819, 150, 2016
2. Kang J., Wang J., & Kang W., *ApJ*, 901, 111, 2020
3. Tanimoto, A., Ueda, Y., Odaka, H., et al., *ApJ*, 877, 95, 2019

銀河 poster9

ダスト進化モデルとそれに基づく銀河 SED モデルの構築

河本 慧理奈 (名古屋大学 理学研究科 M1)

銀河には多数のダストが存在し、ダストの量、大きさ、種類は銀河のスペクトルエネルギー分布 (SED) や星形成効率などの物理量に影響を与える。よって、ダストの形成源や成長過程を理解することは銀河進化を考える上で重要である。しかし、銀河内のダストは生成、破壊が同時に起こるため複雑であり、これまで近傍観測に基づいた単純なモデルでのみ扱われてきた。そこで Asano et al. (2013) では化学進化を

考慮し理論的に銀河のダスト進化を理解するためのモデルを構築した (Asano model)。Asano model ではダスト量の非線形成長を示しており、若い銀河では近傍観測をもとに予測された線形成長するダスト量に比べて少なくなっている。従って、若い銀河におけるダスト量の過大評価を防ぐために Asano model によるダスト進化を取り入れた銀河 SED モデルが構築された (Nishida et al. (2021))。この SED モデルを時間進化させたところ、100Myr では PAH の星からの放射が見えずまたダスト放射も低い値にとどまっており、ダストがあまり生成されていない。それに対し、5Gyr では星形成率の減少とダスト減光に伴って星の放射が緩やかになり、ダスト放射が強くなっている。よって銀河初期ではあまり作られていなかったダストが、SED の時間進化に伴って生成されていく。本講演では Asano model と銀河 SED モデルに関する論文をレビューする。 [1]

1. Asano et al., 2013
2. Nishida, K. Y., et al. 2021, submitted

銀河 poster10

$z \sim 6.8$ の Ly α 光度関数と宇宙再電離期の推定 室伏 海南江 (東京大学 M2)

$z \sim 7$ の Ly α 輝線銀河 (LAEs) は宇宙再電離や若い銀河に関する多くの情報をもたらすことが分かっている。しかし、探査する天域によって Ly α LF の明るい側のばらつきがあるほか、天球分布や Ly α 等価幅 (EW) 分布もまだよく調べられていないという課題がある。そこで我々は、CHORUS project の一環として、すばる望遠鏡に搭載されている中間帯域幅 (FWHM = 330 \AA) フィルター IB945 を用いて COSMOS field (サーベイ面積約 1.5 deg^2) に存在している $z \sim 6.8$ の明るい LAE を探査し、上記の問題に取り組んでいる。IB945 のデータは、最も深い場所での限界等級が 26.17 mag (5σ , $w/1.20''$ diameter aperture)、その等級より明るい側での detection completeness は約 40-90% であることが分かった。探査の結果、 5σ 限界等級より明るい LAEs を 85 個検出した。現在このサンプルを用いて、Ly α 光度関数の導出や天球分布の評価等を行なっている。今後は、先行研究で見つかっている $z \sim 6.8$ の紫外連続光銀河 (Lyman break 銀河) に対して IB945 データから Ly α 光度を測定し、EW 分布を導出することで中性度の議論を行う予定である。また、サンプル中には EW が非常に大きいものも含まれており、それらの性質も調べる予定である。

銀河 poster11

近赤外線観測による遠方クエーサーの変光調査

関根 章太 (早稲田大学 M1)

現在の天文学でブラックホールの研究は日進月歩で行われている。しかし、まだブラックホールの形成過程など不明な点は多く残っている。遠方の天体を観測することで時間を遡り宇宙を見ることが可能であるが、ブラックホール自体は光を発しておらず直接観測することは難しい。そこでブラックホールと関係が深い活動銀河中心核 (AGN) を観測することでブラックホールの活動性に迫っていく。

本研究では AGN の一種であるクエーサーを観測した。低赤方偏移のクエーサーの研究は進んでおり一般に変光していることが知られている。[1] 宇宙再電離期のような遠方でも同様なことを調べるため PSO183+05(赤方偏移 $z=6.44$), PSO338+29(赤方偏移 $z=6.66$), ULAS J1120+0641(赤方偏移 $z=7.09$), ULAS J1342+0928(赤方偏移 $z=7.54$) の 1-3 年に渡る観測データを解析した。今回用いたデータでの等級を測光し、等級の変化が観測可能か調査した。さらに過去の文献値との比較も行った。その結果、PSO183+05 は変更している可能性は低い。PSO338+29 は J band と Ks band において 2014 年から 2019 年にかけて増光している可能性がある。ULAS J1120+0641 は Ks band で 2020 年 4 月 16 日から 4 月 24 日にかけて増光している可能性がある。ULAS J1342+0928 は J band において 2017 年に増光していた可能性があることがわかった。さらに測光誤差を改善するため、ディザリングの手法を変えて観測した。その結果も報告する。

1. W. H. de Vries et al, The Astronomical Journal, vol 126, pages1217-1226, 2003

銀河 poster12

初期宇宙における銀河の多様性とその起源

阿部 紗里 (筑波大学 数理物質科学研究群物理学学位プログラム M1)

初期宇宙で形成される銀河 (初代銀河) は、その活発な星形成により、天体静止系では紫外線波長で明るくなる。この紫外線連続波を用いて観測された銀河はライマンブレイク銀河と呼ばれ、初代銀河の大半を担っていると考えられている。一方、近年の観測によって、初代銀河の一部は紫外線では無く赤外線波長で明るく輝いている事が分かった。これらの赤外線は地上観測系ではサブミリ波帯となるためサブミリ波銀河と呼ばれている。このようなサブミリ波銀河の存在は、初期宇宙で一部の銀河が既に星間ダストによって覆われていることを示している。しかしながら、初代銀河の進化とともに観測特性がどのように変化していくのかはまだ分かっていない。本講演では、数値シミュレーションを用いて初代銀河の多様性を調べた論文、Arata et al. (2019,

MNRAS, 488, 2629) についてレビューを行う。この論文では宇宙論的流体計算と輻射輸送計算を組み合わせることで初代銀河の星形成と超新星爆発のフィードバック、それ伴う輻射特性の時間変化を示している。結果として、スターバーストの初期フェイズでは、星形成領域に分布した高密度なダスト雲が星の紫外線を吸収し、初代銀河はサブミリ波銀河となることが分かった。その後、超新星爆発のフィードバックによってガスとダストが星形成領域から排出され、光学的厚さが小さくなる事でライマンブレイク銀河へと変化していく事が示されている。本講演では、これらの結果とともに、アルマ望遠鏡やジェームスウェッブ宇宙望遠鏡による観測可能性についても議論する。一方で、これらの先行研究では統計的な研究は十分になされていない。これを踏まえ今後の大規模な数値シミュレーションを用いた研究計画についても紹介する。