

## $z \lesssim 1$ における銀河のダストの減少についての準解析的モデルを用いた解析 五十嵐 諒 (新潟大学 M2)

ダストは星間空間に存在するおおよそ  $\sim 1 - 10^{-3} \mu\text{m}$  ほどの大きさの固体微粒子である。ダストは紫外線を吸収し赤外線を放射するため、銀河のスペクトルエネルギー分布に大きな影響を及ぼす。さらにダストは銀河進化において重要な役割を担っており、ガスの冷却や、 $\text{H}_2$  などの分子形成に寄与するばかりでなく、銀河中心の超巨大ブラックホールへのガス降着の促進がもたらされる可能性が示唆されており、その影響は大きい。

本講演は Massimiliano et al. 2023 [1] のレビュー講演である。観測によって約 8Gyr 前から現在までの間で銀河のダストの量がおおよそ 2 ~ 3 倍減少していることが示唆されている。この研究では準解析的モデルの 1 つである "L-Galaxies2020" をベースに、

1. 2 サイズ近似を適用したダストモデル
2. バルジと中心ブラックホールの成長に関してアップデートした円盤不安定性のモデル

という 2 つの新たなモデルを導入することで、ダストの減少を説明できる可能性があることを示した。新モデルはダストのスケーリング則を再現したうえ、赤方偏移  $z \sim 1 \rightarrow 0$  でのダストの減少を予測した。また、講演で言及した 2 つのモデルを、準解析的モデル  $\nu^2 GC$  に導入した結果を紹介する予定である。

1. Massimiliano Parente, Cinthia Ragone-Figueroa, Gian Luigi Granato and Andrea Lapi, MNRAS, 521, 6105, 2023

## 分子雲衝突現象から解明するアンテナ銀河における星形成メカニズム

井上 真 (京都大学大学院 理学研究科 M2)

分子ガスを高密度に圧縮する星形成の重要なメカニズムとして、分子雲同士の衝突が注目されている [1; 2]。天の川銀河や近傍の円盤銀河の観測的研究から、最大 40km/s 程度で衝突する分子雲について、質量が大きく衝突速度が大きいほど大規模な星形成が誘発されること、分子雲の質量に対して衝突速度が大きすぎる場合には逆に星形成が抑制される可能性があることが明らかになった [3; 4]。すなわち分子雲衝突のパラメータと誘発される星形成には依存関係があり、分子雲衝突は多様な星形成率と星形成の抑制を同時に説明し得る、本質的な現象であると考えられる。

衝突銀河では分子雲がより高速で衝突していると考えられ、実際に衝突銀河の活発な星形成領域では  $\sim 100\text{km/s}$  で衝突している分子雲が観測された [5]。しかしながら、小規模な星形成領域、非星形成領域に着目し分子雲衝突の観点から議論した研究はまだなく、分子雲が高速で衝突する場合にどのようなパ

ラメータ依存性が存在するかは明らかではない。そこで我々はアンテナ銀河が銀河内の領域によって 2 桁異なる多様な星形成率面密度を示す衝突銀河であることに着目し、ALMA の分子ガス観測アーカイブデータを解析して、星形成率と分子雲の質量、衝突速度の関係を調べた。その結果  $1M_{\odot}\text{yr}^{-1}\text{kpc}^{-2}$  を示す大規模な星形成領域では、大質量 ( $\sim 10^{7.5}M_{\odot}$ ) の分子雲が高速 (50-200km/s) で衝突している可能性が示唆された。一方で軽い ( $\sim 10^{6.5}M_{\odot}$ ) 分子雲が高速 (100-200 km/s) で衝突すると考えられる領域では、大規模な星形成領域と比べ、星形成率面密度が最大 2 桁ほど低いことがわかった。すなわち衝突銀河に見られる高速の分子雲衝突と星形成にも孤立銀河で見られるものと類似した依存関係があると考えられる。

1. Habe & Ohta, PASJ, 44, 203, 1992
2. Fukui et al., PASJ, 73, S1, 2021
3. Enokiya et al., PASJ, 73, S75, 2021
4. Maeda et al. MNRAS, 502, 2238, 2021
5. Tsuge et al., PASJ, 73, S35, 2021

## extreme emission line galaxy の探査

今井 聖也 (総合研究大学院大学 博士前期課程 1 年)

宇宙の進化を知る上で、再電離期の詳細な物理プロセスを知ることが重要である。再電離に寄与した銀河の特徴として高い星形成率と金属欠乏が考えられる。大変興味深いことに、類似した性質を持つ銀河が現在の宇宙に存在することが観測から明らかになった。これらの銀河は強い輝線を放射していることから EELG (Extreme Emission Line Galaxy) と呼ばれ、特に ( $\text{H}\beta + [\text{OIII}]\lambda 4959, 5007$ ) で輝いているものは可視光域で緑色に輝く小さな銀河であるため green pea と呼ばれる。[1] 過去の研究の例として  $z \sim 3$  において green pea を探査した Onodera et al 2020 [2] などがある。彼らは広帯域フィルターを用いてカタログから候補天体を選択し、分光観測することで spectral energy distribution fitting から、星質量、星形成率、イオン化パラメータなどを求めてその性質を議論している。また、 $z > 6$  の EELGs を観測することは困難であったが、現在では JWST の活躍によって高赤方偏移の EELG も多数観測されており  $z > 9$  のような超高赤方偏移の EELG も観測により発見された。[3] その結果、現在の宇宙では green pea は希少な銀河だが、高赤方偏移では普遍的な銀河であることが分かった。

本講演では、JWST で観測された EELG の最新の論文 [4] と筆者の研究の方針を紹介する。

1. Cardamone et al, MNRAS, 399, 1191, 2009
2. Onodera, M., Shimakawa, R., Suzuki, T. L., et al. ApJ, 904, 180, 2020d
3. Williams, Christina C et al, submitted
4. Sunna, Withers, Adam Muzzin, Swara, Ravindranath et al, submitted

## JWST/MSA シャッターのスリットロスによる物理量測定への影響

### 碓氷 光崇 (筑波大学宇宙観測研究室 M1)

現代の天文学において最も重要なテーマの一つは宇宙再電離の解明である。宇宙再電離は初代天体の放射する電離光子によって中性水素が再電離した現象のことを指し、再電離現象を解明するためには初代天体の物理状態を知る必要がある。2021年に打ち上げられたジェームズウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST) は当該時代における紫外・可視光を観測することができ、分光観測から重元素量や電離パラメータ、電子密度といった星間媒質を特徴づける重要な物理量のより詳細な測定が可能となった。

JWST の分光観測では主に面分光 (IFU) モードと多天体分光 (MOS) モードが使用される。IFU は  $3'' \times 3''$  という小さな視野内を分光し、空間分布を調べることができる [e.g. 1]。MOS は  $3.4' \times 3.6'$  の広視野を持ち、多くの天体を一度に分光観測できる利点がある一方で、1つのスリットは  $0.20'' \times 0.46''$  と小さいため、フラックスを漏らしてしまい誤った物理量を測定する可能性がある。そこで本研究では、FirstLight[1] で形成された赤方偏移7のシミュレーション天体に対して汎用的な星雲輝線モデル CLOUDY[2] を用いて輝線計算を行い [3]、そのデータに対して擬似的に面分光、及びスリット分光観測することでスリットロスによる物理量測定への影響を調べた。その結果、フラックスは 40 ~ 70% の大きな漏れがあった一方で、輝線比から求める物理量については面分光とスリット分光でおおよそ 10% の一致率であり、フラックスの比から計算する物理量であればスリットロスの影響は少ないことがわかった。

1. Hashimoto, incl. Usui et al, arXiv:2305.04741, 2023
2. Ceverino et al, MNRAS, 470, 8, 2017
3. Ferland et al, RMxAA, 49, 26, 2013
4. Nakazato et al, arXiv:2301.02416, 2023

## NGC5128 におけるプラズマガス温度とジェットの 関連

### 浦田 岬 (広島大学先進理工系科学研究科 M1)

楕円銀河の中心には巨大質量ブラックホール (以下 BH) があるとされており、BH の重力で周囲の物質が降着している。質量降着率が高いときには、BH 周辺は極めて明るく輝いており、この明るく輝く領域は活動銀河核 (AGN) と呼ばれている。また、BH から物質が光速に近い速度で吹き出す「ジェット」と呼ばれる現象も起きている。質量降着とジェットの2つの現象によって BH 周辺の高温ガスは擾乱されている。楕円銀河 NGC5128 は過去に打ち上げられた X 線天文衛星により多数観測され、AGN (CenA) とジェットの構造が見えやすい天体である。本研究ではこの NGC5128 をターゲット天体として、

3つのX線天文衛星「すざく」「Chandra」「XMM-Newton」が観測した NGC5128 のX線スペクトルから、銀河内のプラズマ温度分布について解析を行った。はじめに、解析領域を銀河中心から同心円状にとり、銀河中心からの距離によって温度がどのように変化するかを調べた。その結果、NGC5128 は、中心領域 ( $0-60''$ ) ではガス温度が約  $0.7\text{keV}$ 、 $60''$  より外側では  $0.3-0.4\text{keV}$  程度の温度分布を持っており、 $60''-120''$  で急激な温度勾配を持つような構造をしていることが判明した。加えて、解析領域をジェットとの距離に応じて区分し、ジェットが楕円銀河のガス温度にどのような影響を及ぼすのかについて議論を行った。本講演では、これら NGC5128 の高温ガスの温度構造について報告し、ジェットとの相互作用について議論する。

## Probing the Jet Collimation Profile of M84

### Elika Prameswari Fariyanto (The University of Tokyo M2)

The issue of collimation in the jet of active galactic nuclei (AGN) has long been a matter of interest in astrophysics. Recent advancements in very long baseline interferometry (VLBI) analysis have greatly improved our observational understanding of jet collimation properties near supermassive black holes, especially in bright and powerful jet sources. However, previous studies on jet collimation have exclusively focused on such sources. In this study, our focus shifts to M84, a nearby radio galaxy that serves as a prototypical example of a low-luminosity AGN (LLAGN), allowing us to explore jet collimation properties at the lower end of the jet activity spectrum. By analyzing the detailed jet morphology of M84 using data from the Very Long Baseline Array and archival Very Large Array, we investigate the jet geometry from approximately  $10^2$  Schwarzschild radii ( $r_s$ ) up to around  $10^7 r_s$ . The well-fitted jet structure exhibits a transition from a semi-parabolic shape ( $W(r) \propto r^{0.72}$ ) to a conical shape ( $W(r) \propto r^{1.17}$ ) at a distance of approximately  $10^4 r_s$ . Notably, this distance is significantly shorter than the typical collimation breakpoints observed in more powerful jets, suggesting that the collimation process in low-power jets is less efficient. Additionally, we measure the frequency-dependent core shift effect through phase referencing observations and discuss various physical properties of the jet, including the strength of the magnetic field.

## 原始銀河団 SSA22 に位置するサブミリ波銀河のガスの物理状態の推定

### 岡内 紀翔 (名古屋大学 M1)

銀河の進化は宇宙の大規模構造の進化と関係していると考えられている。銀河団の祖先と考えられている原始銀河団を研究することは、大規模構造の中で銀河進化がどのように進むのか

を知るために有効である。SSA22はライマンブレイク銀河やライマン $\alpha$ 輝線銀河の密度超過により発見された原始銀河団である。SSA22では、ダストを豊富に持ち活発な星形成を行なっているサブミリ波銀河も多数観測されている [1]。さらに、SSA22内のADF22領域では、ライマン $\alpha$ 輝線の観測によってフィラメント構造が発見され、この構造に沿ってサブミリ波銀河が分布していることが明らかになった [2]。このような環境に存在する銀河のガスの物理状態を知ることが、銀河進化の理解に重要であると考えられる。

本研究では原始銀河団 SSA22 内の ADF22 領域に存在する、複数のサブミリ波銀河で観測された CO 輝線のデータを用いて、ガスの物理状態の推定を行った。CO の励起状態は主にガスの温度や密度に関係しているため、複数の回転遷移数の CO 輝線のデータから得られた CO spectral energy distribution (CO SLED) をモデリングすることで、銀河のガスの物理状態を推定することができる [3]。RADEX を用いた輻射輸送計算の結果から、CO SLED を再現するガスの物理量を求めた。得られた結果を他の天体に対して同様のモデリングを行った先行研究と比較し議論する。

1. Tamura et al., Nature, 459, 61-63, 2009
2. Umehata et al., Science, 366, 97-100, 2019
3. Casey et al., Physics Reports, 541, 45-161, 2014

## Changing State Quasar モニター観測と広輝線領域の推定

及川 雄飛 (京都大学 M2)

背景：天文学における一つの問題は「超巨大ブラックホール (SMBH: Super Massive Black Hole) がどのように形成されたか」がある。SMBH の統計的研究には SMBH の質量推定が重要であるが、SMBH 質量を推定するのに用いる広輝線領域に関しては不明な点が多くある。近年では CSQ(Changing-State Quasar) と呼ばれる短期間 (1~10 年) で広輝線強度が明確に変化するクェーサーが発見されてきた [1]。

目的：単調増光する CSQ の広輝線の変化から広輝線領域の起源について制限を加える。

内容：広輝線の変化から広輝線領域を推定することができるため、明確な広輝線の変化がみられる CSQ のスペクトル変化から広輝線領域の変化について考察をする。増減光を繰り返す一般のクェーサーと異なり、単調増光 CSQ であればエネルギーが増加している簡単な仮定を用いることが可能になる。広輝線が出現する過程から広輝線領域が現れるまでの起源について統計的な議論を行う。

手法：等級カタログ (ZTF: Zwicky Transient Factory) を用いて直近 2~3 年の間に増光しているクェーサーを候補天体とする。京都大学 3.8m 望遠鏡を用いて候補天体の測光観測を行い増光中かどうかの判断を行う。増光中である天体を増光が終わるまで (1~2 か月間隔) で分光観測をし、増光過程の広輝線

変化を調べる。楕円モデル [2] と hot spot を用いて広輝線領域の半径や形状などの物理パラメータを推定する。取得した複数天体の物理パラメータ変化を統計的に比較検討する。

結果と結論：本研究の過程として増光中の CSQ を高い精度で探すことは成功した。実際のパラメータ推定においては一部天体では増光に伴う広輝線領域の変化を見ることができ一方で、物理的に解釈が難しい結果も出てしまいさらなる考察が必要になる天体も発見された。

1. LaMassa et al, Apj, 800, 144, 2015
2. Eracleous et al, Apj, 438, 610, 1995

## 初期宇宙 ( $z = 4.53$ ) に存在する大質量 Quiescent 銀河の形成過程

柿元 拓実 (総合研究大学院大学 M2)

現在の宇宙で観測される大質量銀河のうち特に楕円銀河は、過去に爆発的な星形成を短いタイムスケールで経験し、その後すぐに星形成活動を止めてしまったことが推測されている [1]。しかしながら、この爆発的星形成の引き金や、その後の星形成を抑制する物理的なメカニズムはまだ謎のままである。この疑問を解決するため、形成初期の星形成をやめている天体 (Quiescent 銀河) を探る研究が精力的になされている。しかしながら、このような大質量 Quiescent 銀河は、高赤方偏移ではまだ確認が進んでおらず、宇宙論的シミュレーションでも再現できない場合が多い [2]。

そこで本研究では、大質量 Quiescent 銀河の初期宇宙での検出を目指し、keck/MOSFIRE による分光フォローアップ観測により  $z = 4.53$  にある銀河を分光的に確認した。非常に暗い天体ではあったものの、スペクトル解析において弱い  $[O_{II}]$  輝線やバルマーブレイクを確認できた。このスペクトルと測光データを組み合わせ、種族合成モデルを用いた SED フィットングを行い、銀河の物理量や星形成史を推定した。得られた星形成史から、この銀河は急速な星形成の抑制を経験したことが明らかとなった。本講演では SED フィットの結果やこの銀河の星形成史に基づく形成シナリオについて議論する。

1. Thomas et al., MNRAS, 404, 1775, 2010
2. Cecchi et al., ApJL, 880, L14, 2019

## 遠方銀河の数密度を考慮したダスト放射進化モデルの拡張

加納 龍生 (名古屋大学大学院理学研究科物理科学領域 1 年)

銀河進化では銀河中のダストが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大きな影響を与える。これまで私たちは銀河の進化にダストと化学進化を含めるモデル [1][2] や、このモデルを用いて銀河の SED を計算する銀河 SED モデル [3] を構築した。これらのモデルは、近傍のダ

スト銀河や天の川銀河の観測特性を再現する。しかし、SED モデルで遠方銀河の観測特性を再現するためには何らかの修正が必要である。本研究では、現在の SED モデルの問題点を解決し、観測された超高赤方偏移の銀河の SED を再現する。ダスト粒あたりの放射を考慮すると計算コストが膨大になるため、ダスト散乱の計算処理にメガグレイン近似を採用することでこの問題を解決した。若い星の周りの分子雲はクランプと呼ばれ、球状とみなされる。遠方銀河はコンパクトであると考えられているため、クランプの密度は近傍銀河のものより高くなるはずである。そこで、クランプ半径に銀河全体とは異なる依存性を持たせ、クランプ中のダストの数密度を高めることで観測値と同じ高いダスト放射を得ることができた。このアプローチにより、より再現性の高いシミュレーションが可能になった。この結果は、遠方銀河は近傍銀河よりもダストの数密度が高いため、ダストの放射が多いことを示唆している。今後、遠方銀河を一次元平面近似ではなく球面にすることで観測結果を再現できるかを検討する。

1. Asano et al. 2013a,b; 2014;
2. Nozawa et al. 2015
3. Nishida et al. 2022

## 「すざく」衛星を用いた Abell 496 の力学的構造の探査

桐山 拳太郎 (埼玉大学大学院 理工学研究科 M1)

銀河団は数十から数千個の銀河の大集団で、力学的な平衡に達した天体として宇宙最大の天体である。銀河団はその進化の過程において衝突合体を繰り返すが、質量に大きな差のある銀河団の衝突ではスロッシングという ICM が渦巻きのような痕跡が残ることが知られている。これは、質量に差のある銀河団同士の衝突において銀河団の軸がずれていると、ガスが角運動量を得るためである。本研究では、X 線天文衛星「すざく」を用いてスロッシングが確認されている Abell 496 の温度分布、元素分布、ガス速度の測定を行なった。空間的に分割した X 線スペクトル解析から、温度、鉄、マグネシウム、ケイ素の半径分布の方向依存性が確認でき、中心部の ICM 成分は、4.5keV と 2.0keV のプラズマモデルで観測されたスペクトルをよく再現することができた。温度はクールコアと呼ばれる銀河団中心部に向かって低くなることが確認でき、元素の分布は全体としては外側に行くほど減少することが確認できた。2023 年打ち上げ予定の X 線撮像分光衛星「XRISM」搭載の X 線マイクロカロリメータ検出器 Resolve は高いエネルギー分光性能 ( $E/\Delta E > 1000$ ) を持つことから、高温ガス内の元素輝線を用いて、高温ガスの速度分布の測定精度が飛躍的に向上する。本講演では、すざくで観測された速度分布をもとに Resolve でどの程度決定精度が上がるのかも議論する。

## 銀河団外縁部のエントロピー測定における前景放射の影響

## 工藤 葉奈子 (東京理科大学大学院理学研究科物理学専攻 1 年)

銀河団は宇宙の大規模構造から暗黒物質やバリオンの降着により成長する。銀河団のような巨大な天体が形成されるためには宇宙年齢と同程度の時間がかかり、その結果、銀河団外縁部は現在も成長過程にある。バリオンの降着により発生する衝撃波によりガスは加熱され、数千万度の銀河団ガスとなり、エントロピーが上昇する。銀河団が成長することにより降着による衝撃波が強くなるため、銀河団中心から離れるほど銀河団ガスのエントロピーは増加すると予想されていた。しかし、すざく衛星の観測により、銀河団外縁部では理論予測に反して、エントロピー (温度/密度<sup>2/3</sup>) が上昇しないという結果が得られていた [1][2]。銀河団外縁部のような低輝度な放射の検出には、前景放射や背景放射影響を慎重に評価する必要がある。近年、すざく衛星により 0.8-1 keV のプラズマからの放射に似た前景放射 (0.8 keV 成分と呼ぶ) が発見された。[3]。この成分は銀河系中心部から天球上に大きく広がるバブル領域で特に明るく銀河団外縁部の温度や密度の測定に影響を与える。

本研究では、このバブル領域の内側にある A1835 銀河団 ( $r_{vir} = 12.0'$ ) および A1689 銀河団 ( $r_{vir} = 15.6'$ ) のすざく衛星による観測データの再解析を行った。ビリアル半径より外側から、0.8 keV 成分が検出された。この成分を考慮にいれスペクトルフィットを行った結果、reference1, 2 に比べ高い温度、エントロピーが得られた。A1689 銀河団については理論予測に近い結果が得られた。バブル領域の放射は非常に複雑なため、銀河団内で 0.8 keV 成分の輝度や温度が一定でない場合についても議論する。

1. Kawaharada et al., PASJ, 714, 423, 2010
2. Ichikawa et al., PASJ, 766, 90, 2013
3. Yoshino et al., PASJ, 61, 805, 2009

## gzK 選択による赤方偏移 2 の電波銀河探査 小林 星羅 (愛媛大学 M1)

銀河中心の巨大ブラックホールの質量と銀河のバルジの質量には相関があり、これらは共進化していると考えられている。これを説明するシナリオの一つに、ガスを豊富に含む銀河の合体による銀河進化シナリオがある。星形成率が低いことや星質量が大きいという特徴を持つ電波銀河は、銀河進化の最終段階にあると考えられている。つまり、初期宇宙における電波銀河を探査することが共進化のタイムスケールやメカニズムの理解に繋がると考えられる。しかし、遠方電波銀河は希少であり、正確な統計的性質は未解明である。

また、これまで用いられてきた遠方電波銀河の選出方法として、電波スペクトルの傾きに注目する方法や、可視多色撮像でライマンブレイクを捉える方法があった。しかし、これらの方法は、必ずしも遠方電波銀河の電波スペクトルの傾きとして特定の値を示さないことや、ライマンブレイク法が星形成銀河を

選択的に選ぶ傾向があることから、遠方電波銀河の選出方法としてはバイアスを無視できないと考えられる。そこで、本研究では星形成銀河に加え、星形成を終えた銀河も選出できる手法を用いて遠方電波銀河候補天体選出を試みた。

本研究では、すばる望遠鏡の HSC で得られた可視光データと VISTA の VIKING サーベイで得られた近赤外線データをマッチングし、モデルトラックにより定めた gZK 選択基準によって赤方偏移 2 の銀河を選出した。それらを FIRST の電波データとマッチングさせることで赤方偏移 2 の星形成電波銀河を 200 天体、パッシブな電波銀河を 32 天体得た。これらの遠方電波銀河候補天体の性質を調査するために、unWISE の中間赤外データも用いて SED fitting を行なった。その結果、赤方偏移 2 付近の電波銀河候補天体は、平均星質量が  $10^{11} M_{\odot}$  を超える大質量銀河であることが分かった。

## 1 活動銀河核によって生まれる銀河風のダイナミクスについて

坂井 延行 (大阪大学 M1)

宇宙進化の大きな謎のひとつに「銀河がどのようにして進化してきたのか」というものがある。この謎を解き明かすための方法として、「円盤風」とよばれる高温ガスの膨張を調べることが挙げられる。円盤風は、銀河の中心部にある活動銀河核とよばれる領域からの輻射圧によってガスが高温に熱せられて外側に吹き飛ばされることによって生じる。円盤風は分子ガスを系外に吹き飛ばすので星生成を強制的に停止させ、銀河全体の進化に影響を与えている [1]。

本公演では、Faucher-Giguere & Quataert (2012)[2] という論文をレビューすることで円盤風のダイナミクスに対する理解を深める。今後は円盤風から放射されるガンマ線やニュートリノの計算を、銀河風のダイナミクスを用いてすることを予定している。

1. 銀河 I-銀河と宇宙の階層構造. 日本評論社. 谷口義明・岡村定矩・祖父江義明 (2007)
2. Faucher-Giguere C.-A., Quataert E., 2012, MNRAS, 425, 605 (FGQ12)

## すばる望遠鏡/HSC で探るこぐま座矮小楕円体銀河の形成メカニズム

佐藤 恭輔 (法政大学 M2)

銀河系に付随する矮小銀河は宇宙初期に形成され、当時の化学進化の情報を保存しており、 $\Lambda$ CDM モデルにおいて銀河系を形成する最小の要素と考えられている [1]。しかし、銀河系矮小銀河の形成メカニズムについては詳しく解明されておらず、その解明が待ち望まれている。これまで銀河系矮小銀河の形成メカニズムとして、単一のガスの自己収縮により形成されたとする、“in-situ”説が支持されてきた。しかし、近年の Keck/DIEMOS による分光観測の結果から こぐま座矮小楕円

体銀河 (UMi dSph) を含む複数の銀河系矮小楕円体銀河に、金属量と速度分散が異なる二つの恒星種族が存在することが明らかにされた [2]。この結果により、初期宇宙において矮小楕円体銀河が金属量の異なるガスの塊であるダークマターハローの衝突により誕生したとする、“merger”説が示唆され、現在二つの形成シナリオについて活発な議論が続いている。二つのシナリオにおいて違いとして表れるのは、恒星種族ごとの年齢であると予想されている。そこで本研究では種族ごとの星形成史を導出することで二つの形成メカニズムに制約をかけることができると考えた。本公演では、すばる望遠鏡/HSC により観測された UMi dSph の撮像データから作成した色等級図に対し、遺伝的アルゴリズムとアニーリングを組み合わせたハイブリッド遺伝的アルゴリズム (HGA) を用い、初めて年齢-金属量分布を推定した。本講演では、この結果をもとに HGA による年齢-金属量分布上での種族の分離が妥当であると言えるか議論を行う。

1. White&Frenk, ApJ, 379, 52, 1991
2. Pace, MNRAS, 495, 3022, 2020

## 銀河団中の電離非平衡プラズマの探査 穴戸 萌那 (東京理科大学 M1)

宇宙最大の天体である銀河団は衝突・合体を繰り返して進化していると考えられており、実際に X 線観測から衝突・合体が示唆される銀河団はいくつか発見されている。また、銀河団中の ICM (Intra-Cluster Medium) は一般に電離平衡状態であると仮定されているが、銀河団衝突がある場所ではそのタイムスケールから電離非平衡の条件の  $n_e t < 10^{13} \text{ s} \cdot \text{cm}^{-3}$  ( $n_e$ : 電子密度、 $t$ : 電離非平衡が生じてからの時間) を満たす場合も考えられる。過去に行われた数値シミュレーションからは衝突銀河団や銀河団外縁部の衝撃波において ICM の電離状態が電離平衡時と異なることがわかっており [1][2]、Abell754 の北西領域の X 線スペクトル解析からは電離非平衡状態の兆候が確認されている [3]。

衝突銀河団の ICM における電離非平衡状態の検出は、これまで銀河団が電離平衡に達したと仮定して行われた ICM の温度や密度、重元素量の推定をより定量的に行うことにつながると考えられる。さらに、電離パラメータ ( $\tau = n_e t$ ) より ICM で電離非平衡状態が生じてからの時間を見積もることで銀河団の衝突過程と銀河団の進化の過程を解明することが期待できる。

本講演では、X 線天文衛星「すざく」の X 線データを用いた銀河団の電離非平衡プラズマの探査の先行研究 [3] の紹介をする。また、現在行なっている「すざく」で取得されたかみのけ座銀河団と A3667 の解析結果の詳細について報告する。

1. Takizawa et al, APJ, 520, 514, 1999
2. Akahori et al, PASJ, 62, 335 2010
3. Inoue et al, PASJ, 68, S23, 2016

## すざく衛星を用いた銀河系の超巨大バブル構造の解析

島谷 侑希 (東京理科大学物理学専攻 1年)

銀河系を X 線で観測すると、銀河円盤から無数の尾根や谷間状に広がる高温ガスが、尾根構造のように銀河面と垂直に伸びている。このような構造は、銀河面から垂直に物質やエネルギーの流れが存在することを示唆している。特に銀河系中心から南北に約 80 度のスケールで広がる、バブル状の構造を eROSITA bubble(以下、バブル構造)と呼ぶ。[1] バブル構造の起源については、先行研究 [2] において、銀河系中心の超大質量ブラックホールから噴き出したガスが、銀河系ハローの高温ガスを押し除けてバブル構造を形成したとする説が提唱されている。

本研究では、バブル構造の起源を明らかにするために、すざく衛星によるバブル構造の約 20 観測のデータを解析した。バブル構造からの X 線は比較的低エネルギーであるために、この帯域でバックグラウンドが低く、やや優れたエネルギー分解能をもつ「すざく衛星」を用いた。[3] 銀河系ハローからの放射は、0.3 keV 成分に加え、新たに銀河円盤に閉じ込められずに吹き出した 0.8 keV 成分を仮定して再現したところ、うまく再現できた。また、バブル構造に沿って高い値を示した放射量の解析結果から、銀河系中心を頂点とする逆円錐形を仮定すると、観測された放射量と 2 温度成分のガスの空間分布を再現できることがわかった。一方、このバブルが超新星残骸だとすると球殻状となることが多いが、そのような形状では観測された輝度分布を再現することができなかった。加えて、銀河系の密度分布や、ガスの放射率からも、バブル構造の起源についても議論を行う。

1. Yang, H., et al. 2022, Nature Astronomy, 584Y
2. Gupta, A., et al. 2023, Nature Astronomy, 91G
3. Mitsuda K., et al. 2007, PASJ, 59, S1

## SMBH 質量—バルジ質量関係の赤方偏移進化

清水 達生 (北海道大学 M2)

ほぼ全ての銀河の中心には超大質量ブラックホール (SMBH) が存在することが知られている。SMBH 質量にはホスト銀河のバルジの質量や速度分散と相関があるため、SMBH は銀河と共進化していると考えられている。この共進化の描像を理論的に調べるために、今回、我々は準解析的銀河形成モデル  $\nu^2\text{GC}$  を用いて、SMBH 質量—バルジ質量関係の赤方偏移進化を調べた。その結果、我々のモデルでは、近傍のよく知られた関係は、高赤方偏移 ( $z \gtrsim 3$ ) では近傍の関係の上下に位置する 2 つの系列に分かれることを予言することを発見した。このように 2 つの系列が現れる理由は、我々のモデルでは SMBH へのガス供給の主なトリガーとして、銀河同士の合体と円盤の不安定性 (DI) の 2 つを考えているためである。我々のモデルでは

DI では円盤からバルジへと移動する星の質量に対して、円盤からバルジおよび銀河中心部へと供給されるガスの割合が非常に小さいことを仮定している。そのため、円盤からの星の移動によるバルジの質量増加に対してガス降着による SMBH の質量増加は小さい。一方、銀河合体では、合体してきた銀河のもつガスは全てバルジに持ち込まれて、爆発的星形成と SMBH へのガス供給に使われることを仮定しているため、特にガスの割合の高い高赤方偏移においてバルジ質量の増加に比例するように SMBH の質量は増加する。低赤方偏移になると、このようなガスリッチな合体は減り、銀河合体は SMBH 質量をあまり増やさずにバルジを優先的に太らせるようになる。これは、SMBH 質量—バルジ質量の平面上で、上の系列の銀河を下側の系列の方へと移動させる効果をもち、やがて 2 つの系列は近傍の 1 つの SMBH 質量—バルジ質量関係へと収斂していくことが分かった。我々の得た結果は高赤方偏移の SMBH 質量—バルジ質量関係と組み合わせることで、未だ不確かである DI のモデルに制限を加えることができる可能性を示している。

## 衝突銀河団 Abell 2163 の XRISM 衛星観測シミュレーション

白木 天音 (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、衝突合体を繰り返しながらボトムアップ式に成長してきたと考えられている。この衝突に伴って莫大なエネルギーが解放され、その一部によって銀河団ガスのバルク運動や乱流運動が引き起こされると予想されている。このような銀河団ガスの運動を解明することは、銀河団や宇宙の大規模構造の力学的進化と形成を探ることにつながる。しかし、バルク運動や乱流運動を精密に測定した例は現在、まだ限られている。

XRISM 衛星に搭載される X 線マイクロカロリメータ分光器 Resolve は約 7 eV の優れたエネルギー分解能を持つため、銀河団ガスの運動を直接観測することができると期待される。そこで本研究では、衝突銀河団 Abell 2163 に注目し、XRISM 衛星観測シミュレーションを通して、バルク運動や乱流運動の検出可能性を探る。観測天体 Abell 2163 は比較的近傍 ( $z = 0.203$ ) に位置する、明るい衝突銀河団であり、質量比 4 : 1 の銀河団 A1, A2 がおよそ 1250 km/s の速さで衝突していると考えられる [1][2]。このような衝突シナリオと本研究で行った NuSTAR 衛星による観測データの解析によって評価した高温ガスの性質をもとに、Abell 2163 の X 線放射スペクトルのモデルを立て、何通りかの観測時間を仮定した XRISM 衛星観測シミュレーションを行った。その結果、A1, A2 が視線速度  $\sim 1250$  km/s で衝突したと仮定した場合、70 ks 程度の観測時間があれば鉄輝線のドップラーシフトから十分な有意性でバルク運動が検出できることを確かめた。もしこのようなガス運動の精密測定が実現できれば、可視光による銀河の速度分布などとも比較することで、衝突銀河団の 3 次元的な質量構造の議論が可能になる

と期待される。

1. H. Bourdin et al., A&A, 527, 13, 2011
2. S. Maurogordato et al., A&A, 481, 593-613, 2008

## Subaru/HSC-SSP データを用いた銀河系ハローサブ構造の探査 鈴木 善久 (東北大学 D1)

冷たい暗黒物質に基づいた標準的な階層的構造形成論に基づく、銀河は小さな恒星系が重力を介して合体・降着を繰り返すことで形成されてきたと考えられている。この過程を考慮した数値実験により、過去の合体・降着の履歴は銀河円盤を取り巻く希薄な領域であるハローに刻まれていることが明らかにされてきた [1]。ハローの詳細な構造を観測的に調査する上では、私たちの住む銀河系はまさに理想的な環境である。それは銀河をその基本単位である恒星にまで分解することが可能であるため、恒星の空間分布・空間運動および化学組成パターンから過去の合体・降着史を紐解くことができるからである。SDSS や Gaia といった昨今の大規模観測によって銀河系中心から約 30 kpc 以内のハロー構造については恒星の化学動力的情報を用いてよく調べられているが、その外縁部については未開拓な状況にある。

そこで本研究では Subaru/HSC-SSP で得られた暗い恒星の測光データに基づいて、銀河系中心から 30 kpc を超えるハロー外縁部に刻まれた過去の合体・降着の履歴を探査した。効率的に検出するために、恒星進化モデル [2] に基づいて色等級図上で金属量に乏しく年齢が古い恒星系に対する Isochrone-filter を作成した。その結果、これまでに発見されていたサブ構造 (e.g., Orphan stream [3]) が再検出されただけでなく、銀河系中心から約 60 kpc において新たなサブ構造の候補が発見された。本講演ではこの検出されたサブ構造の起源について詳しく議論する。

1. Bullock & Johnston, ApJ, 635, 931, 2005
2. Bressan et al., MNRAS, 427, 127, 2012
3. Grillmair, ApJ, 645, 37, 2006

## Planck 衛星と Suzaku 衛星による「かみのけ座銀河団」の圧力構造の探査と大規模構造との相関 須田 一功 (東京理科大学 M1)

銀河団は宇宙の大規模構造の結節点に位置し、フィラメントからの暗黒物質とガスの降着により宇宙年齢をかけて成長を続けている。降着したガスは衝撃波で数千万度に加熱され銀河団ガスとなる。このとき、衝撃波によりガスのエントロピーは上昇する。X 線波長の解析から温度と放射量度 (密度の 2 乗の視線方向の積分) を推定できる。一方宇宙マイクロ波背景放射が、銀河団内の高温ガスを通過する際、スニヤエフ-ゼルドビッチ効果 (SZ 効果) を起こす。この効果は視線方向に積分された高

温ガスの圧力に比例する。その結果、両者を比較することにより、銀河団ガスの密度むらや奥行き方向の情報を得ることができる。このように X 線観測とマイクロ波による観測は相補的と言える。

「かみのけ座銀河団」は近傍で最も巨大な銀河団である。 $R_{500}$  より内側においては比較的力学平衡に達しているが外側の特定の方向において銀河の降着合体が進行している様子が見られ [1]、さらに  $R_{500}$  付近では圧力の不連続性が確認されており、銀河降着に伴うマッハ数 2 程度の衝撃波の存在が示唆されている [2]。

Planck 衛星による「かみのけ座銀河団」の SZ 効果のマップが公開されているが X 線観測との比較は  $R_{500}$  より内側のみである [2]。本研究ではまずは  $R_{500}$  より外側において、SZ 効果と大規模構造のフィラメント方向との相関を調べ、次にすぐく衛星による温度と放射量度との比較を行う。すぐく衛星はバックグラウンドが低く、 $R_{500}$  より外側の銀河団ガスの X 線を検出することができる。「かみのけ座銀河団」についても数方向の観測が行われた。2 つの衛星の観測結果より、銀河団ガスの温度や密度の 3 次元的な分布を求め、エントロピー分布から銀河団ガスの加熱について議論を行うことが目標である。

1. Neumann et al., A&A, 400, 811-821, 2003
2. Planck Collaboration, A&A, 554, A140, 2013

## Ruby-Rush: Accelerated evolution of massive quiescent galaxies in high- $z$ protoclusters 高橋 宏典 (東北大学理学研究科天文学専攻 M1)

巨大銀河がいつ、宇宙のどこで誕生したか、そしていつどのように星形成活動を止めたかを理解することは、初期宇宙における銀河形成の効率や現在の標準的な階層的構造形成論に大きな制限を与えるために極めて重要な鍵である。これまでの観測で  $z = 4.66$  で既に銀河系クラス ( $\sim 6 \times 10^{10} M_{\odot}$ ) の銀河が発見されている [1] が、我々はさらに時間を遡り、宇宙誕生後 12 億年 ( $z \sim 5$ ) の宇宙の原始銀河団領域を系統的に探査し、同等の質量を持ち、かつ星形成活動がほぼ終了しているような成熟した大質量銀河 (Massive quiescent galaxies、以下 MQG) を発見し、初期宇宙における初代の高密度領域と、そこで急成長する大質量銀河の形成プロセスを明らかにすることを目指す。

そのために、Gold-Rush プロジェクト [2] が見つけたライマン・ブレイク銀河が群れている原始銀河団候補領域を狙う Ruby-Rush プロジェクト (代表、児玉) を推進している。Subaru/SWIMS を用いて、星形成活動が停止した銀河のスペクトルに顕著に見られるバルマー・ブレイクを 2 つの中間帯域フィルター ( $K_2, K_3$ ) で挟み込むことにより、従来の撮像観測では成し得なかった  $z \sim 5$  という遠方の MQG 候補を発見することに成功した。より強固なデータセットにするため、Subaru/HSC (可視光) や Spitzer/IRAC ( $\sim 4\mu\text{m}$ ) のデータも用いて SED フィットを行い、候補天体を複数同定した。さら

に発見した MQG の個数はシミュレーション (TNG300[3]) による理論予想では再現することが難しいと示唆された。本講演ではこの Ruby-Rush の成果を総括し、さらに最近行われた Subaru/MOIRCS に搭載された 2 つの中間帯域フィルター ( $K_3, K_4$ ) を用いた  $z = 5.3$  の原始銀河団をターゲットとする観測成果の報告も併せて行い、年齢約 10 億年の宇宙の原始銀河団領域における加速的な銀河形成の実態に迫る。

1. A. C. Carnall, et al., arXiv2301.11413, 2023
2. M. Onoue, et al., PASJ, 70, 10, 2018
3. Nelson D., et al., Computational Astrophysics and Cosmology, 6, 2, 2019a

## HINOTORI: 若返り銀河の統計的解析 田中 匠 (東京大学/Kavli IPMU M1)

銀河は主に、活発な星形成を行う star-forming galaxy (SFG) と、星形成をほとんど行わない quiescent galaxy (QG), およびその中間に位置する green valley galaxy (GV) に分けられる。十分成長した SFG が星形成を止めること (quenching) で、GV を経て QG に進化するシナリオが広く支持されている。本講演で取り上げる若返り銀河 (rejuvenation galaxy: RG) は QG が星形成を再開し、GV や SFG に戻った (rejuvenation を経験した) 銀河のことである。サンプルサイズや先行研究間の RG の定義の違いなどの要因から、現状 RG の統計的な研究は進んでいない。

上記の問題点を解消し rejuvenation のメカニズムや銀河進化における役割を明らかにするため、HINOTORI (star formation History INvestigatiOn TO find RejuvenatIon) プロジェクトを立ち上げた。本研究では、MaNGA survey で観測された  $z \sim 0.03$  の活動銀河核を持たない 8423 個の銀河について、分光データと測光データを合わせた SED fitting で星形成史を推定し、857 天体からなる過去最大の RG サンプルを構築した。選出された RG は QG と似た星質量分布を持つものの、QG よりも disk-like な形態を持つ銀河が多く含まれており、disk-like な QG が選択的に rejuvenation を起こす可能性を示唆している。また、全銀河における RG の割合 ( $\sim 10\%$ ) を用いた概算より、単一の銀河が複数回 rejuvenation を起こす可能性も示された。本講演では、このサンプルを用いた初期解析の結果を示し、今後の RG 研究の展望と合わせて議論する。

## 各赤方偏移及び銀河星質量における銀河衝撃波時間発展

### 照井 勇登 (防衛大学校 M2)

ミッシングバリオン (Missing Baryon) 問題を解決する分のバリオンは、銀河間空間に超高温ガスとして存在すると考えられる。そのためには高赤方偏移 (high- $z$ ) におけるバリオンの構造形成を理解する必要があるが、未解明な部分が多い。我々は宇宙再電離期における銀河形成及び進化過程がその様なバリ

オン構造形成に関係していると考え、その鍵は銀河衝撃波伝搬の様相が握っていると考えられる。

銀河衝撃波の計算は、Sofue(1994)[1] の手法を採用した。その伝搬距離及び方向を決定する主要な要素としては、銀河が存在する赤方偏移  $z$  及び銀河星質量  $M_*$  の二つがある。赤方偏移  $z$  により、銀河間空間のバリオン密度  $\rho_{IG}$  とともに、銀河の星形成率  $SFR$  も変化する [2]。前者は銀河衝撃波の伝搬を抑制する一方、後者は促進する効果がある。また、各赤方偏移  $z$  において、銀河星質量とともに星形成率  $SFR$  は増加する傾向にある [3] ため、銀河衝撃波の伝搬距離に影響する。

本研究では、high- $z$  における最新の研究結果も参考にしつつ、各赤方偏移  $z$  及び銀河星質量  $M_*$  が増加する程、銀河衝撃波の伝搬距離が大きくなった。銀河星質量  $M_*$  における銀河衝撃波時間発展の様相を計算した結果を図で示す。赤方偏移  $z$  又は特に high- $z$  における銀河衝撃波を調べたことは、今後加熱圧縮された銀河間物質 (IGM) が Missing Baryon の候補天体となり得るかを検証するための手掛かりになると考える。また、high- $z$  における銀河観測にも貢献できる可能性もある。

1. Sofue, Y., Ap.J., 431, 91, 1994.
2. Kashino, D. et al., ApJL, 777, 6, 2013.
3. Popesso, P. et al., MNRAS, 519, 1526, 2022.

## 近傍銀河 NGC 1068 における星形成率分布の高精度の画像化

### 長嶋 悠月 (福島大学 M1)

星は銀河の主な構成要素であり、星の形成過程を知ることは銀河の形成・進化の解明につながる。銀河を特徴づける指標の 1 つとして星形成率 (SFR) が知られている。SFR は、1 年間に形成される星の質量の合計を、太陽質量を単位として示した量である (単位:  $M_\odot/\text{yr}$ )。星形成に関連する、大量の大質量星が短期間に生成される現象は、スターバーストと呼ばれる。一部の渦巻銀河では渦状腕に沿ってリング状の構造を作ることから、その領域はスターバーストリング (SB ring) と呼ばれる。

研究対象の天体である、近傍の典型的なセイファート銀河 NGC 1068 も SB ring を持つ銀河の一つである。本研究では先行研究 [1] の手法に基づき、SFR のトレーサーとなる 2 つの波長のデータを用いて NGC 1068 の SB ring 全体の SFR マップを作成した。

SFR のトレーサーとしては、ALMA で観測した 100 GHz 帯 (波長 3 mm) の自由-自由放射と、HST で得られた近赤外線領域に存在する水素再結合線 Pa $\alpha$  輝線 ([2][3])、という 2 つの独立した波長のデータのものを用いた。

100 GHz 帯の自由-自由放射は、波長が長く、原理的に塵による減光がないため、若い大質量星からの放射による電離ガスを直接トレースすることができる。一方で Pa $\alpha$  輝線のような、1  $\mu\text{m}$  以上の赤外線波長は塵の影響を比較的受けにくく、水素の輝線は特に強い強度を持つ [4]。



この比較的高精度な2つの波長のデータから求めたSFRを比較することで、より信頼性が高い結果が得られると期待される。そして本研究により導出されたSB ring全体のSFRは、 $6.9 \pm 0.4 M_{\odot}/\text{yr}$ となった。この結果はmain-sequence銀河の結果と一致する。

このSFRはSB ring全体で一つの電子温度を決定し求められている。しかしSB ring内の物質同士の相互作用等により、実際の電子温度にはムラができる。そのためSB ring全体で一つの電子温度に決定することの妥当性を調べるため、電子温度の空間分布についても考察した。

1. T.Michiyama et al., ApJ, 895, 85, 2020
2. S.García-Burillo et al., A&A, 567, 24, 2014
3. M. Sánchez-García et al., A&A, 660, 30, 2022
4. K.Tateuchi et al., PKAS, 27, 297, 2012

## 広帯域 X 線観測で探る電波銀河の中心核構造 中谷 友哉 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M2)

近傍の観測から、銀河バルジの質量とその中心に普遍的に存在する超大質量ブラックホール (Supermassive black hole; SMBH) の質量には強い相関があることが明らかになっている [1]。このことは、空間スケールが10桁以上異なる銀河とSMBHは互いに影響を及ぼし合いながら進化していること (共進化) を示唆している。共進化の機構解明の鍵となるものが、SMBHへの莫大な質量降着の現場である活動銀河核 (Active galactic nucleus; AGN) である。AGNから母銀河へのフィードバックの一つとして、光速にせまるジェットがある。このジェットはエネルギーを母銀河へと輸送し、銀河の星形成活動を阻害することが示唆されている [2]。シンクロトロン放射によって電波で輝くジェットをもつAGNのことを電波銀河と呼び、ジェットによる周辺環境へのフィードバックを考える上で重要な種族である。また、AGNへの質量供給源であり、母銀河とを空間的に繋ぐトーラス構造は近年広く調査されている [3][4] が、未だジェットとの関係は十分に調査されていない。ガスやダストに覆われているトーラス構造を詳細に調べるためには、高い透過力をもつX線が有効な手段となる。

そこで本研究では、Swift/BATによる硬X線サーベイで検出されたAGNの中で、X線に対する電波強度の比が特に大きな7天体に着目した。そのうち未だ解析されていない6天体について、X線天文衛星すざく、NuSTARによる観測データを用いた広帯域X線スペクトル解析 (0.5 – 65 keV) を行った。現実的なトーラス構造を再現したモデルXCLUMPY[5]を用いることで、これら6天体についてエディントン比 (SMBH質量で規格化したAGN光度;  $\lambda_{\text{Edd}}$ ) とトーラスの幾何構造 (SMBHを囲む立体角) を初めて個々に推定した。

その結果、これらの電波銀河のトーラス構造は、同じエディ

ントン比であるような電波で明るくないAGN[3]と比較して、同じ傾向を示すと考えて矛盾しないことが分かった。この事実は、 $-3 < \log \lambda_{\text{Edd}} < -1$ の範囲において、(1)AGNジェットの有無とトーラス構造に関係はないということ、(2)AGNジェットはトーラス構造に物理的影響をほとんど与えないということを示唆する。

1. Kormendy & Ho, ARA&A, 51, 511, 2013
2. Wagne, ApJ, 757, 136, 2012
3. Ricci, Nature, 549, 488, 2017
4. Ogawa, ApJ, 906, 84, 2021
5. Tanimoto, ApJ, 877, 95, 2019

## 近傍銀河における分子ガス-原子ガス比と星生成の関係 浜 響子 (北海道大学 修士2年)

銀河の進化を考える上で銀河における星生成の理解を深めることは重要であるが、銀河ごとあるいは銀河内部の領域によって星生成の活発さが異なる原因など、未だ明らかではない。星を生成する主な材料である水素分子は、星間ダスト表面上の水素原子から生成される。このことから、分子ガスと原子ガスを観測して両者の相対質量を算出することにより、銀河それぞれに対して分子雲生成がどの程度進んでいるかを推定できる可能性があると考えられる。先行研究によると星間ガス質量は銀河形態に依存していることが報告されており、銀河の形態発現を明らかにする上でのヒントとなることも期待される。[1] [2]

本研究では原子ガスから分子ガスへの転換が、銀河進化に与える影響について着目した。野辺山宇宙電波観測所COMINGプロジェクト [3] で観測された $^{12}\text{CO}$  ( $J=1-0$ ) 輝線とVLAで観測された21 cm線 (HI) のデータを使用し、およそ40個の近傍銀河を対象に星間ガスの定量化を行った。

各銀河について分子ガスが比較的豊富に分布する内側の領域 (光学半径の70%の領域) に注目すると、恒星質量面密度 $\Sigma_*$ と分子ガスと原子ガスの相対質量比 $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ の間には相関係数 $r = 0.60$ の正の相関があることが確認できた。また、星生成率面密度 $\Sigma_{\text{SFR}}$ と $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ の間の相関は $r = 0.30$ と弱いながら、分子ガスの相対比が高いほど星生成が活発になることが確認された。 $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ が高いということは原子ガスから分子ガスへの転換が進んでいることを示唆し、その結果、星生成率の値が高い傾向にあると考えられる。一方、ガスとバリオンの相対質量比 $M_{\text{gas}}/M_{\text{baryon}}$ と $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ の間には $r = -0.38$ と弱い負の相関があり、分子ガスへの転換が進むと星生成も進むことを示唆している。

今回対象とした銀河の多くは上記の傾向を示したが、 $M_{\text{H}_2}/M_{\text{HI}}$ が高い銀河の中で明らかに $\Sigma_*$ や $\Sigma_{\text{SFR}}$ の値が他よりも高い銀河も確認されている。これは銀河内部領域へのガスの流入による可能性が示唆される。

1. Young J.S., Scoville N.Z., ARA & A, 29, 581, 2001

2. Nishiyama K., & Nakai N., PASJ, 53, 713, 2001
3. Sorai K., et al., PASJ, 71, S14, 2019

## ニュートリノ観測実験 ICECUBE による 10 年間の 一般公開観測データを用いた AGN 探索 久田 凜太郎 (京都産業大学理学研究科 M1)

ICECUBE は電磁波・重力波に続きマルチメッセンジャー天文学の新たな一員としてその性能を発揮するニュートリノ観測実験である。南極のアムゼン・スコット基地の地下に設置され南極の分厚く広大な氷床を用いて高エネルギーニュートリノを追っており、宇宙で起こっている高エネルギー粒子の加速現象に付随するニュートリノについての飛来方向を調べることができる。高エネルギー粒子の加速機構はまだわかっていないことが多く、今後の研究が待たれるテーマであり高エネルギーニュートリノが解明の鍵を握るのではないと思われる。

本研究では、ICECUBE の国際研究チームからの発表論文 [1] にあった NGC1068 を含むいくつかの活動銀河と Blazar が高エネルギーニュートリノ放射天体であるとの結果を 10 年間分の一般公開観測データの一部を用いて再現を行った。再現は国際研究チームと同様の解析手法を python コードにて実装し、同様の結果が得られるか確認を行った。その結果、NGC1068 を含むいくつかの活動銀河と Blazar の座標付近に高エネルギーニュートリノ放射源が現れることを確認され、NGC1068 の座標付近にある放射源が全天において最もニュートリノで明るいことも確認された。NGC1068 が最もニュートリノで明るいということは驚きであり、なぜなら NGC1068 は SeyferII 銀河に分類され銀河の中心部分は地球から見ると隠されているため、可視光や赤外光での観測では見ることができない。それにもかかわらず、高エネルギーニュートリノで明るいということは高エネルギーニュートリノは銀河の中心部で等方的に放射されており、隠されることなく地球に届いていると考えられる。

1. IceCube Collaboration, Phys. Rev. Lett. 124, 2020

## 精密分光観測で探る NGC507 銀河群中心部のガスの 速度構造 藤田 将 (埼玉大学大学院 理工学研究科 M1)

銀河団は数十から数千の銀河が重力的に束縛された天体である。また、銀河団は高温ガス (ICM) で満たされており、X 線を放射している。リラックスした (激しい衝突の形跡が見られない) 銀河団では中心部での ICM の温度降下が見られ、このような銀河団を「クールコア銀河団」と呼ぶ。クールコア銀河団では「クーリングフロー」と呼ばれるガスの過剰な冷却とそれに伴う中心部への落下が起きていると予想されたが、銀河団中心部では温度が下げ止まっていることが明らかになってきた。この問題を説明するための加熱源の有力な候補として活動銀河中心核 (AGN) からのエネルギー放射がある。クールコア銀河

団の中心銀河には AGN があることが多い。実際に AGN から噴出する電波ジェットと ICM が相互作用している様子が観測されている。さらに、中心部に限れば、小規模銀河団の方がエントロピーが高く、中心部のエネルギー供給は銀河群の方が顕著に見られる。

AGN から供給されるエネルギーによって掻き乱されたガス速度を測定するためにガスの乱流を調べることが重要となり、ガスの乱流はスペクトルでの輝線の幅からわかる。2023 年打ち上げの X 線撮像分光衛星「XRISM」搭載の X 線マイクロカロリメータ検出器 Resolve は高いエネルギー分光能力で ICM 内に存在する元素からの特性 X 線の微細構造を分離することができる。よって、銀河団 (群) 中心部のガスの速度測定の精度を飛躍的に向上させることができる。

本研究では、Resolve での観測をシミュレーションするために、X 線天文衛星「すざく」による観測データを用いて NGC507 銀河群の中心部を分割して解析を行った。赤方偏移の値の比較からガスの運動を予想でき、シミュレーションに必要な値が得られた。実際の Resolve の観測シミュレーションも行い、ガスの運動の測定精度についても議論する。

## COSMOS 領域における $z \sim 0.8$ の中心に非対称成分を示す Post-starburst 銀河の色勾配 藤本 淳也 (愛媛大学 M1)

銀河は、星形成をしている銀河 (Star-forming galaxies, SFG) と、星形成をしていない銀河 (Quiescent galaxies, QG) に分けられることが知られているが、その原因については明らかになっていない。爆発的に星を形成した直後に星を作らなくなった銀河 (Post-starburst galaxies, PSB) の特性を調べることで、星形成を止めるメカニズムを調査する。COSMOS 領域の赤方偏移  $0.7 < z < 0.9$  の調査で、PSB は SFG や QG に比べて非対称成分の中心集中度 ( $C_A$ ) が高くなることが発見されている [1]。

本研究では、PSB で見られる  $C_A$  の高さの原因を探るために、COSMOS 領域のハッブル宇宙望遠鏡 (HST)/ACS F814W バンドの撮像データと、COSMOS 領域の一部を観測した COSMOS-DASH サーベイの HST/WFC3 F160W バンドの撮像データを用いて、これらの銀河の色が中心から外側へ向かってどのように変化するかを調査した。その結果、PSB は SFG や QG と比較して、外側に比べて内側の方が青いカラーを示すこと、特に  $C_A$  が高い PSB においてその傾向が顕著であることが分かった。これらの色の特徴から、 $C_A$  の高い PSB は外側の星形成が内側より早い段階で止まり、内側のみが直近で星形成をやめたということが示唆される。

1. Himoto&Kajisawa, MNRAS, 519, 4110, 2023

## スリッド分光データを用いた $z \sim 4$ クエーサーにおける Ly $\alpha$ ハローの検出

## 星 宏樹 (東京大学 M1)

銀河の周囲のハローには普遍的に銀河周縁物質 (CGM) と呼ばれるガスが存在していると考えられている。この CGM を理解することは、銀河自身の星形成やその中心に位置するブラックホールにどのようにガスが供給されるのかを知る上で重要である。この CGM は Ly  $\alpha$  で淡く広がって輝いており、この Ly  $\alpha$  ハローは CGM を観測的に調べる 1 つの有効な方法となっている。通常、銀河の Ly  $\alpha$  ハローは表面輝度が低く個別に観測できる例は限られている。一方、強い輻射場を持つクェーサーは個々の天体で Ly  $\alpha$  検出することができるため、これを解析することで銀河やブラックホールの進化に関するより詳細な描像を得ることが可能となる。これまでの研究では、面分光を利用する手法が取られてきたが、データの数に限られてしまっていた。そこで我々は通常のスリッド分光データを多数集めてこの Ly  $\alpha$  ハローを検出することを着想した。これにより空間方向の情報は失われるものの、これまでよりも遥かに多くの天体を解析することが可能となる。我々は手始めに  $z \sim 4$  のクェーサーにこの方法を適用することにした。本講演では、本手法の有効性、実際に適用して得られた結果及びそこから得られる示唆について議論する。

## BAL クェーサー周辺でみられる近接効果の異方性について

前田 祐輔 (信州大学大学院 修士 2 年)

銀河間ガス (intergalactic medium; IGM) を、クェーサーのスペクトル上で検出すると、クェーサーの近傍では中性水素 (HI) ガスによる吸収線の強度と検出頻度が減少することが知られている。この結果は、クェーサーの近傍では IGM の電離状態が高いことを示唆する (クェーサーの「近接効果」)。この効果を調べるために、離角の小さいペアクェーサーを探し出し、手前のクェーサーの視線方向にある HI ガスを、背後にあるクェーサーのスペクトル上で吸収線として捉えるという観測を行ったところ、クェーサーの視線方向では HI 吸収が超過することが明らかになり視線方向の IGM の電離状態が低いことを示唆した。[1] 考えられる原因の一つが、ダストトールスによってクェーサーからの紫外線放射が、非等方的になった結果、周囲の IGM の電離状態にも異方性が残ったというシナリオであり、これを検証するためには、降着円盤の傾きを確認する必要があるが容易ではない。そこで、降着円盤を edge-on に近い方向から観測したときに検出される広吸収線 (broad absorption line; BAL) をもつペアクェーサーを対象とした同様の研究が行われた [2]。その結果、上記ダストトールスによる説明と矛盾しない傾向が見られたものの、サンプル数が少なく、統計的に有意な結論を得ることは出来なかった。本研究では、ペアクェーサー選定に対する条件を緩め ( $g < 20$  mag という条件を外す)、サンプル数をおよそ 4 倍に増加した。そこから主成分分析 (principal component analysis; PCA) [3] などのスペクトルのフィッティングを行い、統計的に有意な結論を得るための

データをまとめた。本講演では、サンプル数が増えたデータに対して同様の解析を行った結果について報告する。

1. Prochaska, J. X., et al. ApJ, 776, 136, 2013
2. Misawa, T., et al. ApJ, 933, 239, 2022
3. Ishimoto, R., et al. ApJ, 903, 60, 2020

## JWST による高赤方偏移での銀河と SMBH の最近の研究について

前原 瑚菜 (総合研究大学院大学 M1)

これまでの観測的、理論的研究から、大多数の銀河の中心には超大質量ブラックホール (SMBH : Supermassive Black hole) が存在することが知られている。近傍宇宙において、SMBH の質量とその母銀河のバルジ質量に強い正相関が成立している。このことから、BH と銀河が共進化している事が示唆されている (Kormendy & Ho 2013) が、それらがどのような物理過程で相互作用を及ぼし、現在の形にまで進化していったか未だ明らかになっていない。そのため、高赤方偏移において形成初期、あるいは形成途上における SMBH と母銀河の観測を行うことは、この謎を解く上で重要である。

そこで本講演では、2021 年 12 月に打ち上がった史上最大の赤外線天文衛星であるジェイムズ・ウェッブ宇宙望遠鏡 (JWST : James Webb Space Telescope) によって明らかになった高赤方偏移における BH 及び銀河に関する最新の論文について把握することで、新たに検出された SMBH や銀河の特徴から共進化に関する可能性について議論を行う。

例えば、Atek et al. (2023) では、JWST で銀河団 Abell2744 による重力レンズ効果から赤方偏移  $z > 9$  以上の銀河候補を合計 19 天体発見しており、その中には赤方偏移が  $z > 12$  の銀河候補が 2 天体含まれている。またこの結果から、質量-光度関係が赤方偏移とともに進化していることなどが示唆された。

さらに、Baggen et al. (2023) では、JWST で見つかった赤方偏移  $7 < z < 9$  で大質量銀河候補の有効半径が、近傍の宇宙に比べて 10~20 倍程小さいにも関わらず、中心密度は近傍の宇宙における楕円銀河と同等であった。この結果は、大規模な早期型銀河の SMBH は宇宙初期 (ビックバンから約 600Myr 後) の時点で形成されており、それらの銀河は近傍の宇宙で観測されている楕円銀河の祖先である可能性が示唆された。

1. Kormendy, J & Ho, L. C., Annual Review of Astronomy and Astrophysics. , 51 , 511 , 2013
2. Atek, H., Chemerynska, I., Wang, B., et.al. , arXiv preprint, arXiv:2305.01793, 2023
3. Baggen, J. F. W., van Dokkum, P., Labbe, I., et.al., arXiv preprint, arXiv:2305.17162, 2023

## 銀河面広域サーベイ FUGIN の結果を利用した、高密度ガス形成機構の観測的解明

## 松坂 怜 (鹿児島大学 M2)

銀河はガスと星からなる系であり、ガスを星へ転換していくことで進化する。特に、星は分子ガスの塊である巨大分子雲 (Giant Molecular Cloud; GMC, 大きさ 40-100pc, 密度  $n(\text{H}_2) \sim 10^3 \text{cm}^{-3}$ ) の内部で誕生する。したがって、銀河進化を理解するためには、GMC が銀河内部でどのように誕生し星形成を行うか、その進化過程を明らかにすることが極めて重要である。一方で、GMC 自体の形成過程は未解明な部分が多い。なぜなら、高密度 ( $n(\text{H}_2) > 10^3 \text{cm}^{-3}$ ) ガスの集合である GMC が形成されるには、低密度 ( $n(\text{H}_2) < 10^3 \text{cm}^{-3}$ ) で広がった希薄ガスを集積させる必要があるが、その集積機構どころか、希薄ガスが銀河のどこにどの程度存在するのかということ自体未解明だからである。ゆえに、GMC の形成過程を明らかにするには、100pc 程度の GMC に対しその周囲、1kpc~数百 pc 程度 (sub-kpc) に広がった希薄ガスの観測的理解を深めることが急務である。sub-kpc に広がる希薄ガスの性質、及び、希薄ガスと高密度ガス (GMC) の関係を包括的に調査する強力な方法としてガス密度頻度分布 (Gas Density Histogram: GDH [1][2]) がある。そこで、本研究では、野辺山 45m 鏡で得られた FUGIN (FOREST unbiased Galactic plane imaging survey with the Nobeyama 45m telescope [3]) のデータを用い、希薄ガスに最も感度がある天の川銀河の GDH を調査した結果を報告する。我々は、GDH を用いた調査により、希薄ガスと高密度ガスの割合が大きく変化している領域を発見した。さらに、その空間分布が天の川銀河の渦状腕とされる領域 [4] と一致することを発見した。これは、渦状腕上で希薄ガスから高密度ガスが形成されていることを観測的に示唆した重要な結果である。

1. Handa et al., Astronomical Society of the Pacific Conference Series, 458, Galactic Archaeology: Near-Field Cosmology and the Formation of the Milky Way, 221, 2012
2. Matsusaka et al., Proceedings of the International Astronomical Union, 17, Symposium S373: Resolving the Rise and Fall of Star Formation in Galaxies, 42, 2023
3. Umemoto et al., PASJ, 69, 78, 2017
4. Reid et al., ApJ, 823, 77, 2016

## MIR Search of Heavily Obscured $z > 3$ AGN Missed in X-ray Surveys

### 松本 尚輝 (東北大学理学研究科天文学専攻 M1)

銀河中心の Supermassive Black Hole (SMBH;  $M_{\bullet} \sim 10^6-10^{10} M_{\odot}$ ) が、宇宙論的なタイムスケールの中でどのようにその質量を得てきたのかということは、現代天文学の大きな謎の一つである。高赤方偏移 (e.g.,  $z \sim 11$ ; [1]) において最近見つかっている SMBH の質量は、一生の間に Super-Eddington 降着のような急激な成長過程を必要とすることを示唆している。深い X 線探査においてさえも検出できないほど

にガスやダストに覆われた、heavily obscured Active Galactic Nuclei (AGN) は、初期宇宙における SMBH とその母銀河のバルジ成分の急激な形成と成長段階を示しているといわれており、その理解を進めるのに適した天体種族であると考えられる。

本研究では、明るい AGN に特徴的に見られる、SED の静止系 2-6  $\mu\text{m}$  の excess に注目し、X 線での検出に依存せずに AGN を選択することで、 $z > 3$  における heavily obscured AGN を含む AGN サンプルを XMM-LSS 領域において構築した。得られた 55 の AGN 候補天体のうち、38 天体がこの領域で行われた深い X 線探査である XMM-SERVS[2] において非検出であり、heavily obscured AGN の候補天体となる。また、この全サンプルに対して SED fitting コード CIGALE[3] を用いた解析を行った。推定された AGN 全光度は  $L_{\text{BOL}} \sim 10^{46-47} \text{erg s}^{-1}$  と、典型的な AGN 光度 ( $\sim 10^{45} \text{erg s}^{-1}$ ) よりも非常に明るく、今回見つかった 55 という数はこれまでの AGN 光度関数で予想される AGN 個数 ( $\sim 40$ ) よりも有意に大きい。これらの結果は、これまで見逃されてきたこの種族の、初期宇宙における全 SMBH の成長率に対する無視できない大きな寄与を示唆している。

1. Maiolino, R. et al., arXiv:2305.12492, 2023
2. Chen, C.-T. J. et al., MNRAS, 478, 2132, 2018
3. Boquien M. et al., A&A, 622, A103, 2019

## PFS 観測に向けた O2 輝線銀河のターゲットセクション

### 山田 祐佳 (東京大学理学系研究科物理学専攻 修士 1 年)

すばる望遠鏡で実行予定の PFS 観測は、すばる望遠鏡の大口径と広い波長領域を活かし、赤方偏移 1.6 から 2.4 の O2 輝線銀河を観測できるという強みを持つ。本研究では赤方偏移 1.6 から 2.4 の O2 輝線銀河を効率よく観測するためのターゲットセクションを目的としている。

赤方偏移 1.6 から 2.4 の O2 輝線銀河が広視野分光観測においてメインターゲットとなるのは初めてのことであり、そのスペクトルについては未だわかっていないことが多い。そのため、現在測光観測などをもとに推定されている赤方偏移には大きな不定性があることが予測されている。本研究ではより信憑性の高いセクションを行うために、HSC 分光観測のデータと併せて、COSMOS2015 のデータからシミュレーションしたカタログ (ELCOSMOS) を用いて解析を行った。

HSC と ELCOSMOS はそれぞれ強みと弱みを持っている。HSC は実際の観測データなので、PFS で観測される色分布とより近い色分布を持つことが想定される。一方、ELCOSMOS は元となった COSMOS2015 の測光のフィルターの数が HSC よりも多いため、より精度よく赤方偏移が求められると期待される。解析の結果、HSC と ELCOSMOS の O2 輝線銀河の色分布は高赤方偏移領域で特に大きな違いを示すことがわかつ

た。二つの色分布の違いの原因を追究したところ、分布の違いの主な原因は HSC にのみ含まれていたデータのノイズと、表面輝度の小さいターゲットによるものであることがわかった。本研究では ELCOSMOS のデータにもノイズを加え、HSC のデータから表面輝度の小さいターゲットを取り除くことで二つのデータの色分布を一致させ、ともに適用可能なターゲットセレクションの提案を行った。

## U/LIRG の Pa $\alpha$ 輝線観測による銀河進化プロセスの研究

幸野 友哉 (東京大学大学院理学系研究科天文学専攻 本原研 M1)

PARADISES(Paschen-Alpha Resolved Activity and Dynamics of Infrared Selected Extreme Starbursts with Subaru) は、超/高光度赤外線銀河 (Ultra/Luminous Infrared Galaxy, U/LIRG) 内部の星形成領域を、水素再結合線の Pa  $\alpha$  輝線を使って探るプロジェクトである。通常星形成領域の観測には H  $\alpha$  輝線 (0.653  $\mu$  m) を用いるが、U/LIRG の星形成領域はダスト減光が非常に強く H  $\alpha$  輝線が観測しづらいため、PARADISES では代わりにやや弱い輝線であるものの減光の影響が弱い Pa  $\alpha$  輝線 (1.875  $\mu$  m) を利用し、U/LIRG のサーベイを行い銀河進化プロセスの理解を目指している。[1]

これまで、U/LIRG からの Pa  $\alpha$  輝線を観測するため、すばる望遠鏡の IRCs を主に利用して 20 天体以上の観測が行われている。この観測から、地上からの観測が難しい Pa  $\alpha$  輝線の分光観測データなどが取得できており、宇宙で最も活発な星形成を行う天体のひとつである U/LIRG の研究を行う上で強力な武器となることが期待される。今回は、このプロジェクトのレビューを紹介するとともに、ここ数か月の分光データの解析結果について発表する。

1. 中村, 修士論文, 6, 2021

## milliquas を用いた quasar の増減光天体数の比較 呼子 優人 (京都大学 M1)

背景: quasar における未解決問題の一つとして、増光天体数と減光天体数の不釣り合いがあげられる。先行研究では、減光数が増光数を上回っていることが示唆されているが [1]、それがサンプルセレクションによる偏りなのか、あるいは変光タイムスケールの違いなどによるリアルな結果なのかは不明である。[2]

目的: Sloan Digital Sky Survey(SDSS) と Pan-STARRS1(PS1) の 2 つの等級カタログを用いて、milliquas (多くの quasar カタログを統合したリスト) 記載の quasar の増 (減) 光量を算出することで、上記の問題の原因究明をすることを目的とする。

内容: 先行研究は、いずれも SDSS で quasar 判定された天体を対象としており、可視光カラーで中心部の降着円盤を捉え

た天体についてのみ議論されている。milliquas を用いることで、増 (減) 光数の不釣り合いがサンプルセレクションの影響を受けているのかを調査する。

手法: 3 カタログの共通天体の内、ブルーミングや散乱光の影響が予想される、明るい星の近くの天体と、恒星の増/減光数が非対称となる、g-band 等級が 19 等以上の天体を除いた赤方偏移  $z < 2.0$  の quasar を対象とした。SDSS, PS1 間の各バンドの等級評価の補正、SDSS と PS1 の間約 8 年間での増 (減) 光量 (mag) の算出を行った。天体を  $z$  で分類して、それぞれの範囲の天体を、SDSS で quasar 判定された天体とそうでない天体 (多くは WISE で quasar 判定されたもの) に分け、その増 (減) 光数の比較を行った。

結果:  $z < 0.5$  の、SDSS で quasar 判定されなかった天体について、増光数が減光数を卓越していることが分かった。

結論: 減光数の卓越は SDSS で quasar 判定された天体における事象であり、先行研究の結果はサンプルセレクションの影響を受けている可能性が高いことが分かった。 $z < 0.5$  の増光した天体は、quasar 活動中に一時的に極端に暗くなったため SDSS の可視光カラーでは quasar 判定されなかったものの、AGN 活動自体は継続しており、WISE の中間赤外カラーでのみ quasar 判定されたものが多いと考えられる。

1. Rumbaugh et al, ApJ, 854, 160R, 2018
2. Shen et al, ApJ, 918L, 19S, 2021

## Line-locked AGN アウトフローの変動メカニズムの解明

劉 強 (信州大学大学院 D1)

あらゆる銀河において、母銀河の楕円成分と銀河中心に存在する巨大質量ブラックホール (SMBH) の質量比はおおよそ数百倍である。この相関関係は銀河と SMBH が同時に進化してきたこと (共進化) を示唆する。共進化を実現するためには、何らかの方法で両者が情報交換を行う必要がある。その役割を果たす候補がいくつか存在するが、現在、最有力候補として注目されているものがキューサーから吹き出すガスの流れ「アウトフロー」である。アウトフローの諸性質の解明は銀河と SMBH の共進化メカニズムの解明に繋がる可能性があるため期待されている。本研究ではアウトフローの諸性質を解明するために、その時間変動傾向に注目した。ターゲットは、アウトフローに起源を持ち、line-locking 現象を示す HE0151-4326 を選定した。アウトフロー観測に伴う最大の課題は放出方向の不定性であるが、line-locked 吸収線は我々の視線方向への放出がほぼ保証される。モニター観測の結果、アウトフローが背景光源を覆う比率 (掩蔽率) が明らかな時間変動を示すことが確認された。背景光源としては、連続光領域と広輝線領域が考えられる。これらを基に、観測結果との整合性を確認したところ、2 つのシナリオ (連続光領域の周辺を輻射圧を受けながら加速されるモデル、中心から十分離れた場所にあるガスの電離状態が変動す

るモデル)に絞り込むことに成功した。今後も分光モニター観測を継続し、シナリオの絞り込みを進めるとともに、母銀河へのフィードバック効率を高精度で評価する予定である。

## 南極 12 m テラヘルツ望遠鏡のサイエンスの検討 若杉 航希 (筑波大学 宇宙観測研究室 M1)

近年アタカマ大型ミリ波サブミリ波干渉計 (ALMA) によって、赤方偏移 6 以上 (宇宙年齢 10 億年未満) の星形成銀河から [OIII]88 $\mu$ m や [CII]158 $\mu$ m など遠赤外線 of 微細構造線の観測が精力的に行われている [1][2][3][4]。遠赤外線の輝線は、可視光の輝線に比べダスト減光の影響が小さい利点があり、その輝線比から星間媒質の基本的な情報 (重元素量、密度) を推定できるため、銀河進化の研究で重要である。しかし、ALMA Band 9 (602-720 GHz) や Band 10 (787-950 GHz) など高周波数帯の観測は、とくに観測条件の良い時期に限られている。それゆえ、[OIII]88 $\mu$ m([CII]158 $\mu$ m) の観測は主に Band 8 すなわち赤方偏移 6 以上に限られている。また、赤方偏移 6-7 程度の銀河の電子密度を推定する上で貴重な [OIII]52 $\mu$ m 輝線を遠方銀河で観測した例が少ない [5]。

このような背景の中で、南極大陸は標高が高く、乾燥しており、年中気候が安定しているため、サブミリ波やテラヘルツ波の観測地点として注目されている。本講演では、筑波大学を中心とする研究グループによって推進されている、南極 12 m テラヘルツ望遠鏡 (ATT12) のサイエンスの検討状況を報告する。ATT12 の観測できる周波数帯域はおおよそ 230GHz-2000GHz であり、地上で唯一テラヘルツ帯の観測が可能である。我々は、南極での周波数ごとの光学的厚みの情報を用い、システム雑音を導出し、ATT12 が実際に観測できる周波数帯 (大気窓) と微細構造輝線の輝線光度の検出限界を調べた。さらに、輝線光度と赤外線光度  $L_{IR}$  の関係を利用して、輝線を調べられる赤外線光度の検出限界を推定した [6]。結果、[OIII]88 $\mu$ m や [CII]158 $\mu$ m は赤方偏移 1-3 という、宇宙の星形成史において最も星形成活動が活発であった時代まで観測可能と明らかにした。また、[OIII]52 $\mu$ m 輝線の場合、赤方偏移 7 にある赤外線光度  $L_{IR}=10^{13}L_{\odot}$  の天体まで現実的に観測可能と明らかにした。これをもとに、ATT12 がもたらすと期待される銀河進化への知見を議論する。

1. Hashimoto et al. (2018), Nature, 557, 392
2. Inoue et al. (2016), Science, 352, 1559
3. Tamura et al. (2019), ApJ, 874, 27
4. Fudamoto et al. (2021), Nature, 597, 489
5. Killi et al. (2023), MNRAS, 521, 2526
6. Bonato et al. (2019), PASA, 36, 17