

銀河・銀河団

1 太陽運動測定における天の川銀河動力学構造の影響の評価および Gaia を用いた太陽運動測定

柏田 祐樹 (国立天文台 M2)

天の川銀河内での太陽の運動の測定は、銀河天文学における長年の問題である。先行研究のほとんどは、太陽運動を測定するための軸対称動力学モデルに基づいていたが、実際にはバーや渦状腕といった非軸対称銀河構造が近傍の星の運動に影響することが知られている。この効果により、速度分散による asymmetric drift や軌道共鳴といった現象が起き、観測から求める太陽運動の値を間違える可能性がある。しかし、この効果のモデルへの影響の定量的な評価は未だかつて行われていない。この効果を調べるため、本研究ではまず速度分散を考慮した模擬カタログを生成しを用いた太陽運動測定にバーと渦状腕が及ぼす影響を調べた。マルコフ連鎖モンテカルロ (MCMC) 法を用いて、Oort-Lindblad モデルと Ogorodnikov-Mile モデルを模擬カタログに適用してサンプル星の空間分布と速度構造 (速度楕円体や基礎構造など) の影響を評価した。サンプル星の速度分散の差は、Oort-Lindblad モデルにおける太陽運動の銀河回転方向の速度に対し 30% 程度の誤差を生むことが判明した。また、速度楕円体、共鳴軌道、サンプル星の選択の傾きの影響についても説明する。さらに、Hipparcos に次ぐ 15 年ぶりの位置天文観測衛星 Gaia の登場により、先行研究よりも詳細な太陽近傍星の解析が可能となった。本研究では上記のモデル評価の結果を踏まえて MCMC 法を用いて Gaia データに Oort-Lindblad モデルと Ogorodnikov-Mile モデルを適用することでより現実的な太陽運動測定を行い、動径速度 $\approx 9.5\text{km/s}$ 、方位角速度 $\approx 17.5\text{km/s}$ 、鉛直速度 $\approx 5.3\text{km/s}$ という結果を得た。本講演ではこれらの具体的な内容を発表する。

1. Oort, 1927, Bull. Astron. Inst. Netherlands, 3, 275
2. Ogorodnikov, 1932, Z. Astrophys. 4, 190
3. Gaia Collaboration, Katz et al., 2018, arXiv, 1804.09380G

2 エッジオン銀河 NGC891 の運動学的、物理的性質についての検証

喜多 将一朗 (筑波大学 宇宙観測研究室 M2)

エッジオン銀河はフェイスオン銀河では見ることはできない垂直方向の分布をみることが出来る。星風や超新星爆発によってガスや金属、星間物質が銀河表面から吹き上げられる。超新星爆発による銀河風が銀河空間まで到達するかどうかは銀河質量 (重力ポテンシャル) と銀河風の規模 (ガスの膨張エネルギー、大質量性の生成量) の大小関係できまる。銀河風が銀河ハローやさらに外側の銀河間空間にまで到達するほどの規模なら、銀河間空間に重金属やガス、ダストを輸送し、そうでなければ噴出したガスは銀河に銀河噴水として帰ってくる。つまり、銀河

の鉛直方向の吹き出しを観測することは、銀河間空間の物理状態 (重金属量とその組成比) や、銀河表面と銀河間空間との相互作用を理解するのにとても重要である。

NGC891 は inclination angle が $>89^\circ$ (e.g. Xilouris et al.1998) のほぼ完全なエッジオンで、距離が $\sim 9.6\text{Mpc}$ (e.g. Strickland et al. 2004) の近傍の銀河である。回転速度や optical luminosity の大きさ、non-interacting SA(s)b galaxy (de Vaucouleurs et al. 1976) であるなど our galaxy に近い銀河である。また、過去に鉛直方向の吹き出しが野辺山ミリ波干渉計の観測によって確認されている (Handa et al. 1994)。

本研究では野辺山 45m 鏡と FOREST 受信機を用いて、NGC891 を ^{12}CO 、 ^{13}CO 、 C^{18}O の 3 輝線同時観測を行った。その観測結果から、鉛直方向の分布について検証する。また、エッジオン銀河の構造について知るため、ガスの動径分布の導出と、Bar についての議論を行う。Bar については Junichi Baba (2015) の our galaxy のシミュレーション結果を barred galaxy のモデル銀河として、様々な角度からの PV 図を NGC891 の観測で得られた PV 図と比較することで Bar の向きについての議論を行う。また、 $^{12}\text{CO}/^{13}\text{CO}$ 比および $^{12}\text{CO}/\text{C}^{18}\text{O}$ 比を導出し、領域ごとのガスの密度分布についても議論する。

本発表ではこれらの検証結果について報告する。

1. Sakamoto, ApJ, 475, 134 (1997)
2. Handa, Sofue, Ikeuchi, Ishizuki, & Kawabe, ASPC 59 361H (1994)
3. Junichi Baba, MNRAS 454, 2954-2964 (2015),

3 $z \leq 1.0$ における銀河の軸比分布とその進化 (2nd)

佐藤 祐樹 (愛媛大学 M2)

銀河の見かけ軸比 ($a \geq b$) を統計的に調べることで銀河の三次元での形を推定することが出来る。Ryden (2004) は得られた見かけの軸比分布を三軸不等の楕円体とみなし fitting することで真の軸比 ($A \geq B \geq C$) を推定した。しかしこれまでの研究では $z \leq 1.0$ における銀河の軸比分布の進化について詳しく調べられていなかった。また星形成活動や星質量別の軸比分布の進化についても同様であった。そこで我々は COSMOS 領域の、 $0.2 \leq z \leq 1.0$, $M_V \leq -20$, $M_{star} > 10^9 M_\odot$ の銀河 (29528 天体) をサンプルとし、その軸比を HST/ACS の i' バンドを用いて測定した。また $\text{sSFR} > -10[\text{yr}^{-1}]$ を star-forming 銀河、 $\text{sSFR} < -10[\text{yr}^{-1}]$ を passive 銀河と定義しそれぞれについて $0.2 \leq z < 0.6$ と $0.6 \leq z \leq 1.0$ で軸比分布を調べた。その結果、星形成率別に進化を見てみると、star-forming 銀河の軸比分布はフラットでほとんど変化を示さないのに対して、passive 銀河では $b/a \sim 0.8$ をピークとする山型からフラットな分布へ進化するような変化がみられた。以上の結果は、第 47 回天文・天体物理若手夏の学校で発表した。

今回我々は今まで得られた結果を使用し Ryden (2004) の方法を用いて真の軸比を推定した。その結果 star-forming 銀河の真の軸比はほとんど進化を示さず $\langle B/A \rangle \sim 0.77$ から ~ 0.79 で $\langle C/A \rangle$ はどちらの赤方偏移範囲でも ~ 0.30 だったのに対し、passive 銀河の $\langle B/A \rangle$ は ~ 0.85 から ~ 0.82 へと有意な変化を示さなかったが $\langle C/A \rangle$ は ~ 0.41 から ~ 0.31 へと有意な進化を示した。軸比が進化している星質量範囲を調べてみると star-forming 銀河はどの星質量範囲でも変化を示さず passive 銀河の $M_{star} \geq 10^{11} M_{\odot}$ でも進化が見られなかったが、passive 銀河の $10^{10.5} M_{\odot} \leq M_{star} < 10^{11} M_{\odot}$ の範囲で $\langle C/A \rangle$ が ~ 0.39 から ~ 0.26 へ、 $10^{10} M_{\odot} \leq M_{star} < 10^{10.5} M_{\odot}$ の範囲で $\langle C/A \rangle$ が ~ 0.50 から ~ 0.35 へ大きく変化していることが分かった。この結果はこの星質量範囲で扁平な形状を持つ銀河の割合が増えることを示唆している。さらに宇宙膨張による表面輝度減少や形態 K 補正の効果についても検証したが上記の結果に影響を与えるようなバイアスは確認できなかった。

1. Padilla & Strauss, 2008, MNRAS, 388, 1321
2. Ryden 2004, ApJ, 601, 214
3. Takeuchi et al. 2015, ApJ, 801, 2

4 棒渦巻銀河 NGC253 における炭素同位体比の観測的研究

小西 諒太郎 (大阪府立大学 宇宙物理学研究室 M1)

銀河には恒星だけではなく星間物質という分子ガスが存在し、このガスの物理状態を理解するために一酸化炭素 ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$ や $^{13}\text{CO}(J=1-0)$) の輝線強度やそれらの比からガスの温度、密度といった物理状態などを求めることができるが、その際に各分子の同位体比を仮定する必要がある。仮定した各分子の同位体比によって導出される分子ガスの物理状態が変わるので、正確な同位体比を求めることは必要不可欠である。特に炭素同位体比 ($^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比) は重要な情報である。近年、天の川銀河や系外銀河の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の研究がなされてきてきた。Langer & Penzias (1990) によると $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の値が、天の川銀河の中心領域が 24 であり、5kpc の地点では 30 ほど、12kpc 離れた地点では 70 程度である。一方、系外銀河の NGC253 の中心領域の比は 40 ± 10 (Henkel et al. 2014) で、M82 の中心は 50-75 (Mao et al. 2000) という報告がある。これらの値は天の川銀河の中心領域の 24 に比べて 1.5-3 倍ほど大きいことがわかる。また、系外銀河の円盤領域の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の測定は未だなされておらず、系外銀河において $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比がどのように空間変化するのかわかっていない。

本研究では、系外銀河において $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比を中心から円盤領域まで調べた。観測対象として天の川銀河から約 3.5Mpc (約 1100 万光年) 離れた棒渦巻銀河 NGC253 の $^{12}\text{CN}(N=1-0)$ と $^{13}\text{CN}(N=1-0)$ の輝線を観測してそれぞれの積分強度値から

$^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比を求めた。CN 分子は CO 分子ほど存在量は多くないが CO よりも光学的に薄く炭素の存在比をより正確に測定できるという利点がある。ALMA による観測の結果、NGC253 の中心コアから 2.3-2.4kpc (7500-7800 光年) 離れた円盤領域で初となる $^{12}\text{CN}(N=1-0)$ と $^{13}\text{CN}(N=1-0)$ 輝線の検出に成功し、その地点での $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は 25 ± 11 となった。中心領域では領域によって値が異なり、中心コアよりも北東領域は 29-35、コアよりも南西領域は 43 ± 2 という結果となった。これは NGC253 の円盤領域の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比は、中心領域の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比と同じくらいであり、天の川銀河の $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ 比の空間分布とは異なることを意味する。

1. Langer & Penzias 1990, ApJ, 357, 477
2. Henkel et al. 2014, A&A, 564, 3
3. Mao et al. 2000, A&A, 358, 433

5 多輝線解析を用いた近傍棒渦巻銀河における分子ガスの物理状態と星形成

矢島 義之 (北海道大学 宇宙物理学研究室 M1)

銀河の主要構成要素は星である。したがって、星の原料となる分子ガスの密度や温度、力学状態を調べることは銀河の進化を理解する上で必要不可欠である。銀河の構造が渦状腕だけでなく、中心部に棒状構造 (バー) を持つものは棒渦巻銀河として知られ、これは近傍宇宙では一般的な銀河である。棒渦巻銀河のバー領域では渦状腕と比べ、同質量の分子ガスでも星が生まれにくい (星形成効率が低い) ことが報告されている (e.g., Momose et al. 2010)。Sorai et al. (2012) はバーにおいて分子ガスの運動が激しいため、バーの分子雲は重力的に非束縛状態である可能性を示した。したがって、バーにおける分子ガスは自己重力収縮が困難であり、渦状腕のものよりも密度が低いと予想される。

そこで、本研究は多数の銀河を $^{12}\text{C}^{16}\text{O}(J=1 \rightarrow 0)$ 、 $^{13}\text{C}^{16}\text{O}(J=1 \rightarrow 0)$ 、 $^{12}\text{C}^{18}\text{O}(J=1 \rightarrow 0)$ の 3 輝線で同時観測した野辺山宇宙電波観測所レガシープロジェクト COMING で得られたデータと JCMT で観測された $^{12}\text{C}^{16}\text{O}(J=3 \rightarrow 2)$ 輝線のアーカイブデータを利用し、近傍の棒渦巻銀河 NGC 3627 と NGC 4303 について、バーの分子ガスは渦状腕のものよりも低密度であるのかどうか調べた。まず、それぞれの銀河について渦状腕、バーエンド、バー領域ごとに有意に検出された $^{12}\text{C}^{16}\text{O}(J=1 \rightarrow 0)$ 、 $^{13}\text{C}^{16}\text{O}(J=1 \rightarrow 0)$ 、 $^{12}\text{C}^{16}\text{O}(J=3 \rightarrow 2)$ 3 輝線の領域平均された積分強度比を求めた。次に複数輝線の積分強度比から観測分子の準位分布、放射輸送を計算し、分子ガスの数密度と温度を推定できるコード RADEX (Van der Tak et al. 2007) を使い、分子ガスの数密度と温度を求めた。

その結果、NGC 3627 で 53%、NGC 4303 で 20% バーの分子ガスは渦状腕のものよりも数密度が低いことが判明した。また、求めた分子ガス数密度と星形成効率の間には正の相関が確

認できた。さらに各領域のスペクトルの線幅と分子ガス数密度の関係調べたところ、線幅と分子ガス数密度の相関は線幅の大きさにより変化することが明らかとなった。これらの結果により、バーでは分子ガスの運動が激しく、分子ガスの密度が低下し星形成が抑制されていると結論づけられる。

1. Momose, R., et al. 2010, ApJ, 721, 383
2. Sorai, K., et al. 2012, PASJ, 64, 51
3. Van der Tak, F. F. S., et al. 2007, A&A, 468, 627

6 シミュレーションにおける棒渦巻銀河の星形成

堀江 秀 (北海道大学 宇宙物理学研究室 M1) 銀河は様々な形態分類がされており、その1つに棒渦巻銀河というものがある。棒渦巻銀河とは銀河の中心を貫くように棒状構造 (bar) が存在し、その両端から伸びるように渦状腕 (arm) が見られる銀河であり、太陽系の存在する天の川銀河も棒渦巻銀河だと考えられている。近年の棒渦巻銀河の観測から、bar 領域における星形成効率 (Star Formation Efficiency; SFE) は arm 領域よりも低いことが示されている (e.g. Momose et al. 2010)。ここで SFE は単位ガス質量あたりの星形成率 (Star Formation Rate; SFR) で定義される。観測やシミュレーションによって、bar 領域における分子雲同士の衝突時の相対速度が arm 領域と比べて大きすぎるために、重い星が形成されない可能性が挙げられている (e.g. Maeda et al. 2018, Fujimoto et al. 2014) もの、bar 領域での SFE が低いという傾向のメカニズムはいまだよくわかっていない。

本研究で我々は分子雲同士の衝突などは考えずに、宇宙論的シミュレーションで用いられる星形成の条件を考慮した簡単なモデルによって、棒渦巻銀河の傾向が得られるかどうかのシミュレーションを行った。解析においては観測結果と比較しやすくするために、各スナップショットで観測の分解能と同程度の領域ごとに含まれる星とガスを用いて、各時刻における H_2 の表面密度と単位面積当たりの SFR の相関図を作成した。

その結果、どの時刻においても bar 領域の SFE は arm 領域と同程度であり、観測から得られているような棒渦巻銀河の傾向は得られなかった。これにより、このシミュレーションで考慮した星形成の条件などを変える必要がある可能性がある。

星形成の条件や bar と arm のパターンスピードなどのパラメータを変えたシミュレーションの結果についても議論する予定である。

1. Momose et al., 2010, ApJ, 721, 383
2. Maeda et al., 2018, PASJ
3. Fujimoto et al., 2014, MNRAS, 445, L65

7 近傍銀河における空間分解した星形成則の統計的研究

依田 萌 (名古屋大学 銀河進化学研究室 (Ω 研 M2))

銀河ではガスから星が形成されており、単位時間に形成される星質量を星形成率と呼ぶ。銀河円盤で平均したガスの面密度と星形成率の面密度の間には対数線形関係が成り立ち、Kennicutt-Schmidt 則 (Schmidt 1959, Kennicutt 1998, 以下、K-S 則) と呼ばれている。K-S 則は星形成活動を理解するために長年研究されてきたが、未だ観測を十分に説明する理論の確立には至っていない。近年では空間分解した単一の銀河内に成り立つ K-S 則 (以下、ローカル K-S 則) が盛んに研究されている (e.g. Bigiel et al., 2008)。星形成は数 100 pc スケールで起こる現象であるため、K-S 則を説明する理論を確立するためには、ローカル K-S 則を調べることは大変重要である。しかし、ローカル K-S 則の先行研究はケーススタディが多く、統計的な研究は行われてこなかった。ローカル K-S 則の物理的起源を解明するには、サンプルを増やし、統計的に理解することが不可欠である。

これまで、空間分解した分子ガス面密度を計算するために必要な一酸化炭素輝線のマッピングデータが少ないことが、ローカル K-S 則の統計的研究を困難にしていた。しかし、近年野辺山 45m 電波望遠鏡で行われている近傍銀河の多天体マッピング観測のデータによって、ローカル K-S 則を統計的に議論することが可能となった。本研究は K-S 則の物理的起源を解明することを目的とした、世界最大規模のサンプル数を誇るローカル K-S 則の統計的研究である。

本研究では、およそ 100 天体に対して分子ガス (NRO 45m, COMING プロジェクト), HI ガス (VLA), 星形成率 (GALEX, WISE) を用いて、1 kpc スケールの K-S 則を調べた。その結果、ローカル K-S 則のべきが天体ごとに有意に異なることが明らかになった。さらに、銀河を特徴づける複数の物理量とべきとの相関を調べた結果、ローカル K-S 則のべきは星形成率面密度のコントラストと強く相関しているということが分かった。本発表では研究結果を報告し、考えうる K-S 則の物理的起源について議論する。

1. Schmidt, Maarten, *Astrophysical Journal*, 129, 243 (1959)
2. Kennicutt, Jr., Robert C., *Astrophysical Journal*, 498, 541 (1998)
3. F. Bigiel et al., *The Astronomical Journal*, 136, 2846 (2008)

8 近傍銀河における CO-H₂ 質量変換係数 X_{CO} の観測的研究

保田 敦司 (筑波大学 宇宙観測研究室 M2)

水素分子 H₂ は分子雲の中で最も存在量が多い分子であり、系外銀河内における H₂ 量を求めることは銀河形成や星形成過程の解明に不可欠である。しかし、極低温環境下にある分子雲中の H₂ は電波放射ができないため、直接観測は困難である。そこで、H₂ に次いで存在量が多い一酸化炭素 CO が H₂ 量の測定に用いられる。CO 積分強度と H₂ 柱密度の間に比例関係が知られており、比例係数を CO-H₂ 質量変換係数 X_{CO} と呼ぶ。系外銀河の X_{CO} の値を知ることができれば、それを用いて CO 積分強度から H₂ 柱密度を推定することが可能となる。しかし、X_{CO} は分子雲の環境や性質に依存するため、銀河ごとで X_{CO} が異なる。従って、多くの系外銀河の X_{CO} 測定を行い、X_{CO} の傾向や金属量などへの依存性を議論する必要がある。

本研究では、野辺山 45m 鏡を用いた近傍銀河 CO 複数輝線サーベイプロジェクトである COMING で取得された多数の銀河全体の ¹²CO(J=1-0) 分布データを用いて X_{CO} 測定を行った。これまで X_{CO} 測定は主に巨大分子雲 (GMC) スケールで空間分解した分子雲の CO 観測を行い、ビリアル平衡を仮定した分子雲のビリアル質量から X_{CO} を導出していた。しかし、COMING で観測した近傍銀河では GMC スケールで分子雲を空間分解できていない。そこで、kpc スケールの空間分解能で X_{CO} 測定が可能な、ダスト面密度と中性水素 HI・¹²CO(J=1-0) から算出したガス面密度の比であるダスト-ガス比を用いた手法で測定を行った。ダスト面密度は Herschel アーカイブデータを用いて SED fitting を行い、ダスト温度分布を導き、ダスト温度分布からダスト質量密度分布を算出した。HI は VLA のアーカイブデータを用いた。

本発表では X_{CO} 測定方法の詳細な説明および得られた結果について報告する。

1. Leroy, A. K., et al., *The Astrophysical Journal*, 737.1 (2011).
2. Sandstrom, K. M., et al., *The Astrophysical Journal*, 777.1 (2013).
3. Casey, Caitlin M., *MNRAS*, 425(4), 3094-3103 (2012).

9 銀河の金属量を考慮した CO-H₂ 変換係数と星形成効率

柴田 修吾 (北海道大学 宇宙物理学研究室 M1)

銀河の星形成率面密度と H₂ 分子ガスの面密度の間にはべき乗の相関関係 (Schmidt- Kennicutt 関係) があることが知られている。一方、Leroy et al. (2006) は不規則銀河 IC 10 の分子ガスはこの関係から大きく外れ、単位分子ガス面密度に対する星形成率面密度 (星形成効率) が他の銀河に比べ大きいことを発見した。ただし、彼らは CO の観測から H₂ ガスの質量を求

める際に用いる CO-H₂ 変換係数 (X_{CO}) を天の川と同じものと仮定している点に注意する必要がある。IC 10 のように低金属量な環境では X_{CO} が大きくなることが知られている (e.g. Arimoto et al. 1996) ため、金属量を考慮せずに一定の X_{CO} を用いると不規則銀河のように低金属量な銀河での分子ガスを過小評価して、星形成効率を過大評価してしまう可能性がある。

我々は国立天文台野辺山宇宙電波観測所 45-m 電波望遠鏡のレガシープロジェクト COMING (CO Multi-line Imaging of Nearby Galaxies) で、140 個以上の近傍銀河の CO マッピング観測を行なった。本研究では低金属量な晩期型銀河について COMING で得られた ¹²CO(J = 1 - 0) データを用いて、分子ガス面密度と星形成率面密度の関係を X_{CO} が一定の場合と金属量を考慮した場合の両方で比較した。その結果、X_{CO} を天の川と同じ値にした場合に Schmidt- Kennicutt 関係から大きく外れていた晩期型銀河が金属量を考慮すると他の銀河の関係に近づくことが明らかになった。このことはこれらの銀河の星形成効率が金属量を考慮した場合、一般的な銀河と大きく変わらないことを意味している。

一方、晩期型銀河の星形成率面密度と分子ガス面密度の関係は金属量を考慮しても銀河内で大きくばらついていて、銀河内で星形成効率が一律ではない。このことは晩期型銀河内部で金属量に変化している可能性を示唆する。

1. Arimoto et al. 1996, PASJ, 48, 275
2. Leroy et al. 2006, ApJ, 643, 825

10 COSMOS 領域のバースト的な星形成を起こしている銀河の定量的指標による形態解析

樋本 一晴 (愛媛大学 M2)

宇宙の階層的構造形成において、銀河は重力相互作用により合体を繰り返して進化してきた。銀河の合体が起こると、形態に大きな変化を生じると共に、バースト的な星形成活動を誘発すると考えられている。我々の研究室では、COSMOS 領域の $z = 0.2 - 1.0$, $M_V < -20$ (mag) の銀河 (文献 [1]) に対して、静止系 3400, 4200, 5200 Å の等級による 2 色図を作成した。古い星の多い銀河が突然バースト的な星形成を起こすと、長波長側のカラーが赤いまま、O, B 型星からの放射によって短波長側のカラーが青くなることを用いて、バースト的な星形成を起こしている銀河を 2 色図上から選出し、これらの銀河の割合が赤方偏移が 1 に近づくにつれて急激に増加することを発見した。しかし、このバースト的な星形成活動が何に起因しているのかについては明らかにされていない。

本研究では、バースト的な星形成活動の原因として銀河同士の合体/相互作用がどの程度寄与しているのかを調べるために、上記の 2 色図上で分類された銀河のうち、ハッブル宇宙望遠鏡のデータがある $z = 0.7 - 0.9$ の 8900 天体に対して、我々が考案した中心表面輝度比の指標と非対称度 (文献 [2],[3]) など

の既存の定量的指標を組み合わせた形態解析を行った。その結果、バースト的な星形成を起こしている銀河は、通常の星形成銀河と比べて、非対称で複数部分に分かれた形態をした銀河の割合が有意に高く、これらのバースト的な星形成活動の多くには銀河の合体/相互作用が寄与していることが示唆された。一方で、銀河の星形成活動が突然止まると O, B 型星からの放射が弱くなることから短波長側のカラーが赤くなることを用いて、同じ 2 色図上で分類された突然星形成活動が止まった状態の銀河は、連続的に星形成している銀河の形態と区別がつかないことから、その多くはバースト的な星形成を起こした後ではなく、通常の星形成銀河が急に星形成を止めた状態である可能性がある。

1. Ilbert et al. 2009, ApJ, 690, 1236
2. Abraham et al. 1996, ApJ, 107, 1
3. Conselice et al. 2003, ApJS, 147, 1

11 10 万個の SDSS スペクトルで探るアウトフロー・銀河関係

菅原 悠馬 (東京大学 宇宙線研究所 D2)

活発な星形成銀河では、恒星風や超新星爆発からのエネルギーや運動量により星間ガスが加速され、銀河スケールのアウトフローが生じる。アウトフローは星形成を抑制し、銀河の進化を制御する役割を果たすと考えられている。過去の観測的研究において、中性ガスや電離ガスの金属吸収線から推定されたアウトフロー速度は、星形成率 (SFR)、星質量 (M_*)、星形成率面密度 (Σ_{SFR}) と正の相関があることが示されている (e.g., Chisholm et al. 2015)。しかし、アウトフローの駆動に本質的に必要な銀河の物理量については未だ議論が分かれる。私たちは Sloan Digital Sky Survey (SDSS) で得られた 10 万個以上の星形成銀河のスペクトルを用いて、アウトフローと銀河の物理量の相関を調べた。まず SFR 、 M_* 、 u -band 有効半径 (r_u)、傾斜角、ダスト減光量の五つのパラメータに基づきスペクトルをビンに分け、信号雑音比が ~ 150 となるように合成スペクトルを作成した。このスペクトル中の NaID 吸収線をガウス関数でフィッティングし、NaID の青方偏移量 Δv を測定した。 Δv を Σ_{SFR} に対してプロットしたところ、 $\log(\Sigma_{SFR} [M_\odot \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}]) > -1.75$ となる多くのスペクトルが $\Delta v > 0$ を示した。 Δv の大きさは、星形成銀河がアウトフローを駆動できるかどうかを示す質的な指標である。そのため、この結果はアウトフローを駆動するためのしきい値が $\log(\Sigma_{SFR} [M_\odot \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}]) > -1.75$ であることを意味する。この値は古典的なしきい値 $\log(\Sigma_{SFR} [M_\odot \text{ yr}^{-1} \text{ kpc}^{-2}]) > -1$ (Heckman et al. 2002) よりも 5 倍以上小さい値でアウトフローが駆動されることを示しており、星形成率面密度がより小さな銀河でもアウトフローが観測された過去の結果とも矛盾しない (Rubin et al. 2014)。また、 Σ_{SFR} に対する Δv の分布は大きな分散を持っていた。そこで、この分散を説明する

パラメータを探るため、 Δv を $10^\alpha SFR^\beta M_*^\gamma r_u^\delta$ というモデルでフィッティングしたところ、ベストフィットモデルとして $\Delta v \propto SFR^{0.3} M_*^{0.5} r_u^{-0.6}$ が得られた。このことから、アウトフローの駆動には星形成率面密度だけでなく、星質量も強い影響を持つといえる。

1. Chisholm et al. 2015, ApJ, 811, 149
2. Heckman 2002, ASP Conf. Ser., 254, 292
3. Rubin et al. 2014, ApJ, 794, 156

12 クランピートラスからの X 線スペクトルモデルの Seyfert 1 銀河 IC 4329A への適用

小川 翔司 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

銀河中心には超巨大ブラックホール (SuperMassive Black Hole: SMBH) が普遍的に存在し、SMBH と銀河は互いに影響を与え合いながら共進化してきたと考えられている (e.g., Magorriani et al. 1998)。銀河進化という究極の課題を解明する上で、SMBH の進化を理解することが重要とされてきた。SMBH の進化の鍵を握るのが活動銀河核 (Active Galactic Nucleus: AGN) である。AGN とは SMBH へ質量が降着することにより、莫大な重力エネルギーが放射エネルギーへと変換され、銀河中心が明るく輝く現象である。AGN の構造は SMBH と降着円盤、それらを取り囲むダストトラス (以下、トラス) から成る。様々な観測結果から質量降着源であるトラスは、多数のガスの塊から成る密度が非一様な構造 (クランピートラス) であることが示唆されている。赤外線ではクランピートラスからのスペクトルモデルが既に作成されている (Nenkova et al. 2008)。赤外線はダストの構造のみを反映する一方、X 線ではガスを含めた全物質の構造を知ることができる。しかし、X 線スペクトルに適用可能なモデルは発展途上である。我々の研究室は X 線でのクランピートラスモデルを作成しており (Tanimoto et al. in prep.)、赤外線の結果と比較することができる。

そこで我々は、近傍の Seyfert 1 銀河 IC 4329A に着目した。なぜなら、この天体は赤外線からトラスの構造が調べられているからである (Ichikawa et al. 2015)。私達はこの天体にクランピートラスからの X 線スペクトルモデルを適用することで、トラスの赤道面での水素柱密度を推定した。さらに、銀河系の星間物質におけるダスト減光量と水素柱密度の比を仮定して、赤外線の結果と比較を行った。その結果、赤外線よりも X 線で求めた水素柱密度の値が 8 倍ほど小さく、トラスでは銀河系星間物質よりガスに対するダストの比が大きいことが示唆された。本講演では解析の詳細について述べ、AGN のトラス構造について議論する。

1. Magorriani, J., Tremaine, S., Richstone, D., et al. 1998, Aj, 115, 2285
2. Nenkova et al. 2008, Apj, 685, 147

3. Ichikawa, K., Packham, C., Ramos Almeida, C., et al. 2015, *Apj*, 803, 57

13 吸収を受けた狭輝線セイファート 1 型銀河の研究

岩切 駿 (愛媛大学 M2)

宇宙に存在するほとんどの銀河の中心部には超大質量ブラックホール (Supermassive Black Hole; SMBH) が存在すると考えられており、SMBH とそれを有する母銀河とは互いに影響を及ぼし合いながら共進化してきたとされている。しかし、共進化の詳細な過程についてはまだ分かっておらず、SMBH の誕生や進化といった成長過程についても課題が残っている。SMBH の成長過程に迫るために、我々は現在成長途上にある SMBH を有する銀河に着目した。その代表的な候補天体の一つに狭輝線セイファート 1 型銀河 (Narrow-line Seyfert 1; NLS1) があり、中心核に存在する SMBH は比較的小質量 ($10^6\text{--}7 M_{\odot}$) で、極めて高い質量降着率を示す、といった特徴を持っている。このような特徴を示していることから、NLS1 の中心核周辺は非常に濃い物質で覆われた構造であると考えられる。そのため、X 線領域では吸収の兆候を示す銀河中心核として観測されることが期待されるが、これまで観測されてきた NLS1 ではそのような兆候を示した例はほとんどない。そこで、本研究では、吸収を受けた NLS1 の存在を確かめるために、FWHM($H\beta$) < 2000 km s^{-1} を示す NLS1 候補天体の中から、以下の特徴を示す天体を、吸収を受けた NLS1 候補天体とした。(1) 可視光等級に対して X 線フラックスが暗い (2 天体)、(2) 硬 X 線領域 (15-150 keV) で明るい (3 天体)。これら 5 天体を、Suzaku 衛星での観測データを用いて 0.5-40 keV の領域で X 線スペクトル解析を行い、吸収を受けた NLS1 か否かを調べた。その結果、いずれの天体も、スペクトルに (i) 吸収を受けた直接成分、(ii) 軟 X 線領域の超過成分と、これまで観測されてきた NLS1 と同じような特徴が見られたが、(i), (ii) に加えて、(iii) 強い吸収を受けた直接または反射成分も存在することが分かった。このうち (iii) の吸収量は、 $N_{\text{H}} = 10^{23.1\text{--}24.3} \text{ cm}^{-2}$ となり、これら 5 天体の中心核周辺の一部が非常に濃い物質で覆われていることを示唆するものとなった。今後は、上記のスペクトル解析で得られた結果から、中心核周辺の構造を明らかにする。

1. Leighly, K. M. 1999, *ApJS*, 125, 317
2. Parisi, P., Masetti, N., Rojas, A. F., et al. 2014, *A&A*, 561, A67
3. Véron-Cetty, M.-P., Véron, P., & Gonçalves, A. 2001, *A&A*, 372, 730

14 高光度赤外線銀河 NGC 5135 が持つ隠された活動銀河核の広帯域 X 線観測

山田 智史 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M2)

高光度赤外線銀河 ($L_{\text{IR}} [8\text{--}1000 \mu\text{m}] > 10^{11} L_{\odot}$) はガスを豊富に持ち、星形成が活発であることから、進化段階の銀河として注目されてきた。特に中心領域に存在する活動銀河核 (Active Galactic Nucleus; AGN) の性質を調べることは、銀河とその中心の巨大ブラックホールの共進化 (e.g., Kormendy & Ho 2013) を解明する上で重要である。星形成の活動は赤外線の光度から見積もることができる。しかし、これらの中心領域はダストに深く埋もれているため、AGN の性質が詳細には分かっていない天体が多い。そこで鍵を握るのが、透過力の高い硬 X 線 (> 10 keV) を用いた観測である。特に、硬 X 線衛星 *NuSTAR* による高精度なスペクトルは、隠された AGN からの放射を直接的に確認できるため、その性質を詳細に調べることができる。

本研究では、近傍の高光度赤外線銀河 NGC 5135 に着目した。この天体は Compton-thick (水素柱密度が $> 10^{24} \text{ cm}^{-2}$) で非常に深く埋もれた AGN を持つと考えられており、他の波長の観測から詳細な研究も行われている。我々は、硬 X 線衛星 *NuSTAR* による新しい観測データに加え、他の X 線衛星データ (*Chandra*, *Suzaku*) の全てを用いて広帯域 X 線スペクトル解析 (0.5-70 keV) を行った。スペクトルモデルには、同研究室が開発したダストの塊がクランプ状に分布する最も現実的な数値トラスモデル (Tanimoto et al. in prep.) を適応している。その結果、AGN の X 線光度と水素柱密度を求めるだけでなく、初めてトラスの構造にも制限を与えることに成功した。本公演では、他の波長での観測結果と比較を行い、本天体の性質について議論を行う。

1. Kormendy, J., & Ho, L. C. 2013, *ARAA*, 51, 511

15 すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた塵に覆われた銀河の可視光線における統計的性質の調査

登口 暁 (愛媛大学 D1)

Dust-obscured galaxies (DOGs; Dey et al. 2008) は可視光線に比べて中間赤外線が 1000 倍以上明るい天体である。この天体の形成を説明するシナリオとして、ガスを多く含んだ銀河同士の合体シナリオがある。ガスを多く含んだ銀河同士が起きたあと、塵に覆われた星形成活動が起き、ガスや塵が中心のブラックホールへ落ちて行くことで塵に覆われた活動銀河核 (active galactic nuclei; AGN) 段階へ進化し、最後に塵が晴れてクエーサーに進化するというものである (Hopkins et al. 2008)。このシナリオにおいて、DOGs は塵に覆われた星形成段階と塵に覆われた AGN 段階に対応していると考えられている。即ち、クエーサーの形成と進化を研究する上で重要な天体である。そこで、本研究ではすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam で得られたデータをもとに、近赤外線や中間赤外線のデータと組み合わせることで大規模な DOGs サンプルを構築し、DOGs の可視光線帯の SED の統計的性質を調査した。結果として、427 天

体の DOGs を発見し、可視光線の性質として、星形成段階にある DOGs は観測者系の可視光線帯では赤く、それに比べると AGN 段階にある DOGs の可視光線帯の SED が相対的に青いことが解った。これは塵の減光量で DOGs の色が決まるとすると仮定すると、前述の Hopkins et al. (2008) のシナリオと合致する結果である。また、可視光線帯で極めて青い DOGs (Blue-excess DOGs; BluDOGs: Noboriguchi et al. 2018) も存在しており、この天体は中心の AGN からの光が塵の間から漏れ出していると考えられる。

1. Dey et al. 2008, ApJ, 677, 943
2. Hopkins et al. 2008, ApJS, 175, 356
3. Noboriguchi et al. 2018, ArXiv e-prints, arXiv:1803.09951

16 近傍渦巻銀河 M 83 における渦巻腕を横切る際の巨大分子雲の化学進化の観測的研究

杉内 拓 (大阪府立大学 宇宙物理学研究室 M1) 銀河には様々な形を示すものがあり、その多様性は銀河進化段階を反映していると考えられている。それゆえに銀河進化の素過程である分子雲の進化や星形成を理解することが重要である。はっきりとした渦巻腕を持つ渦巻銀河は、分子雲の進化において渦巻腕が大きな役割を果たすことが知られている。銀河円盤内を回転する分子雲は渦巻腕を横切る際に、衝撃波を受け圧縮されることで進化が進むと言われている。

最近の研究にて、渦巻銀河において分子雲が渦を横切る際に質量を蓄えて大質量になっていくことがわかってきた (Egusa et al. 2011, Hirota et al. 2011,) また、渦巻銀河 NGC 1068 の ^{13}CO (1-0), C^{18}O (1-0), CS(2-1), CH_3OH (2-1) の 4 輝線の観測がより巨大な分子雲 (~ 100 pc) での化学進化過程を明らかになった (Tosaki et al. 2017)。

そこで本研究では渦巻銀河 M 83 の東側の渦巻腕において、巨大分子雲 (~ 40 pc) の化学進化について知るために、ALMA 望遠鏡を用いて ^{13}CO (1-0), C^{18}O (1-0), CS(2-1), CH_3OH (2-1) の 4 輝線を高分解能で観測し空間分布を調べた。具体的には、同定した分子雲のそれぞれについて、4 輝線の積分強度および強度比、サイズ、線幅、分子ガス質量、ビリアル質量、ビリアル比を求めた。

輝線強度および強度比を比較することで、下流ほど高密度で星形成が活発である傾向があることがわかった。この結果は、「渦巻腕を横切る際に分子雲が進化し、高密度ガス形成と星形成が起こる」ことを NGC 1068 での先行研究 (~ 100 pc) に比べて、M83 においてより細かい分子雲のスケール (~ 40 pc) で詳細に明らかにしたということである。講演ではこの他、最新の研究結果について報告する。

1. Egusa et al. 2011 Apj, 726, 85
2. Hirota et al. 2011, ApJ, 737, 40
3. Tosaki et al. 2017 PASJ, 69 18

17 大規模シミュレーションに基づいた銀河サブストラクチャの統計的性質に関する研究

森永 優 (千葉大学院融合理工学府数学情報科学専攻情報科学コース M1)

銀河周辺では矮小銀河や星団が潮汐崩壊をおこし形成されたストリーム構造などが複数観測されている。これらサブストラクチャの形状は過去、矮小銀河がどのような軌道を描いて銀河に取り込まれたかのトレーサーであり、銀河形成史を探る上で重要である。本研究では銀河周辺の多数のサブストラクチャの統計的性質を解析するために、標準的な ΛCDM モデルに基づいた、ボックスサイズ $8h^{-1}\text{Mpc}$ 、質量分解能 $5.13 \times 10^3 h^{-1} M_{\odot}$ の高分解能な宇宙論的 N 体シミュレーションに対して、Particle Tagging と呼ばれる手法を用い、サブストラクチャの起源であるダークマターハロー内の動的に強く束縛されているダークマター粒子を恒星粒子と仮定することで恒星の分布をモデル化した。加えて再電離を考慮した準解析的星形成モデルを用いて恒星質量を見積もり、観測と矛盾のない銀河形成モデルの構築を行った。そして矮小銀河ハローと銀河との潮汐相互作用の結果として形成された、サブストラクチャの様々な構造を“長さ”や“細さ”などの形状の特徴を表すパラメータとして定量化し、近点距離や遠点距離などの軌道をあらかずパラメータとの関連性について調べた。

近点距離や遠点距離の違いによって現在のサブストラクチャの長さや細さがスムーズに変化し、特に近点距離 30kpc、遠点距離 100kpc 前後の軌道を描いて銀河周辺を軌道運動するハローを起源とするサブストラクチャは細長いストリームを形成しやすくなる傾向が見られた。一方で銀河中心付近を軌道運動するような近点距離が小さいものは、銀河からの大きな潮汐力の影響で内部の恒星粒子が大きく引き剥がされ、細い形状を維持できなくなる傾向が見られた。また、サブストラクチャの起源であるハローがいつホストハローの半径内に入ったかによって現在の形状はスムーズに変化し、特にストリーム構造を示すサブストラクチャは赤方偏移 0.5 \sim 2 でホストハローの半径内に入ったハローを起源とすることが明らかになった。また、高赤方偏移でホストハローの半径内に入ったハローは十分に潮汐崩壊し、細い形状を示さなくなる傾向が見られた。

1. Cooper A. P., et al., 2010, MNRAS, 406, 744
2. De Lucia G., Helmi A., 2008, MNRAS, 391, 14

18 すばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam を用いた $z \sim 1$ における quasar-red galaxy のクラスタリング探査

佐藤 真帆 (東北大学 天文学専攻 M2) 近傍銀河の中心の超巨大ブラックホール (SMBH) 質量と母銀河の性質の間に相関があることが観測的に知られており (e.g. Magorrian et al. 1998)、SMBH と銀河は共進化してきたこと

が示唆されている。しかし、共進化がどのような物理メカニズムによりトリガーされるのかは、未だによく知られていない。SMBH の成長を引き起こしているとする QSO の統計的性質を、QSO の活動性の高い時代において調査することが、そのメカニズム解明のための一つのアプローチ方法である。AGN と銀河のクラスタリング測定は、それにより AGN のダークマターハロー (DMH) 質量に制限を付け、DMH 内での割合および分布を見積もることができる。そのため AGN と銀河の間のクラスタリング測定は、AGN の周辺環境理解のための重要な鍵となる。そこで私達は、 $z=0.9-1.1$ における SDSS QSO と HSC red-galaxy の相互相関関数 (CCF) を、Hyper Suprime-Cam 戦略枠の大規模探査で得られた Wide 領域データを用いて計算する。赤い銀河は強く偏った分布をしており、宇宙の大規模構造をよくトレースすることが知られている。このクラスタリング解析により、宇宙大規模構造とクエーサーの活動性を関連付けること、そしてクエーサーの宿主 DMH の性質に制限を付けることを目指している。 $z=1$ の赤い銀河サンプルの選択手法としては、Kodama & Arimoto 1997 の種族合成モデルに基づいた楕円銀河の色進化トラックにより色選択を行なった。解析による CCF の結果から、 $z=1$ における QSO は赤い銀河と同程度に強くクラスタリングしていることが示唆された。今後、HOD 解析やブラックホールの質量分布との関係性の調査などを進めたいと考えている。本講演では、これら色選択およびクラスタリング解析の手法、結果、今後の展望等について報告する。

1. Krumpel, M., et al., 2015, ApJ, 815, 21
2. Kodama, T. & Arimoto, N., 1997, A&A, 320, 41

19 銀河団外縁部のエントロピー異常に対するガス塊の寄与

上田 将暉 (東京理科大学 理学研究科 物理学専攻 松下研究室 M1)

銀河団は重力的に束縛された宇宙最大の天体であり、現在も質量降着を受けて成長している。降着による衝撃波加熱は成長に伴い大きくなるため、銀河団ガスのエントロピーは外側に向かって上昇すると考えられた。しかし、すざく衛星を用いて銀河団外縁部まで観測した結果、エントロピーは外側でほぼ一定であった (e.g., Kawaharada et al. 2010)。高温ガスの放射強度は密度の 2 乗に比例するため、一部の高温ガスが拡散せずに塊のまま存在すると、密度の過大評価を引き起こす。すると、エントロピーの過小評価に繋がるため、予測との矛盾の原因の一つとして考えられている (e.g., Simionescu et al. 2011)。そこで、ガス塊が実際に存在し、それが密度の評価にどの程度の影響を及ぼすかを調べたい。

本研究では XMM 衛星とすざく衛星で観測された天体のうち 6 天体を解析した。銀河団観測で X 線点源として検出される天体には、先述したガス塊に加えて遠方の活動銀河核が考えら

れる。そこで、 $5 \times 10^{-15} \text{ erg cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上の明るさで検出された点源について、銀河団領域と近くに銀河団の存在しない領域との放射強度と個数密度の関係を比較した。その結果、点源の大半が活動銀河核である比較領域に対して、銀河団領域の点源数は有意に超過していなかった。また、活動銀河核の放射に特有の冪関数と高温ガスの放射の成分を足し合わせてスペクトル解析を行ったところ、冪関数成分が卓越しており、高温ガス由来と考えられる成分の寄与は 2 割未満であった。以上の 2 つの結果から、検出された点源のほとんどは、比較領域と同じく遠方の活動銀河核であると考えられる。

1. Kawaharada, M., Okabe, N., Umetsu, K., et al. 2010, Apj, 714, 423-441
2. Simionescu, A., Allen, S. W., Mantz, A., et al. 2011, Science, 331, 1576

20 銀河団ガス中の共鳴散乱シミュレーション

秋元 大地 (東京理科大学 理学研究科 物理学専攻 松下研究室 M1)

銀河団ガスの運動を知ることは、乱流による銀河団ガスの加熱機構を知る上で重要である。放射領域のガス速度はドップラー効果でわかるが、放射領域と観測者との間のガス速度は共鳴散乱によって調べられる。ここで共鳴散乱とは、光子がイオンに吸収されたあと、一様に再放射されることで散乱されるように見える現象である。共鳴散乱の断面積は乱流速度に依存し、乱流速度が大きいと散乱が起きにくくなる。共鳴散乱による影響として、銀河団中心領域からの共鳴線の強度が減少するほか、乱流における共鳴散乱では入射時と放射時で光子のエネルギーが変わるため線幅が広がる。ひとみ衛星によるペルセウス座銀河団コアの観測では、共鳴散乱を考慮したシミュレーションに基づくスペクトルと観測とが一致し、乱流速度がガス中の音速の 2 割に満たないことが確認された (Hitomi Collaboration, 2016, 2018)。一方で、ペルセウス座銀河団コア領域の外側や他天体についても同様の傾向が見られるかは未知である。

本研究では、共鳴散乱による共鳴線の抑制や線幅広がり、銀河団ガスの乱流速度によってどう変化するかシミュレーション結果を示す。ペルセウス座銀河団のガスの共鳴散乱に対する光学的厚さを計算すると、振動子強度の大きい Fe He α 共鳴線等で共鳴散乱が起こりやすいとわかった。また、乱流速度が 150 km s^{-1} のときの光学的厚さは乱流がないときと比べて半分程度になるとわかった。これらに基づき、ペルセウス座銀河団で光学的に厚い輝線での共鳴散乱シミュレーションを、粒子シミュレーションツールキット Geant4 を用いて行った。その結果、共鳴線と他の輝線との輝線強度比および線幅広がり予想を得た。今後、X 線天文衛星代替機の観測計画に向けて他天体についてシミュレーションを行う。

1. Hitomi Collaboration; 2016, Nature 535 (7610), 117
2. Hitomi Collaboration; 2018, PASJ 70 (2), 1

21 HSC 広視野撮像観測による $z \sim 4$ Brightest Cluster Galaxy 候補の検出

伊藤 慧 (国立天文台 M2)

Brightest Cluster Galaxies (BCGs) は銀河団中における特異的に明るく質量の大きな銀河である。BCGs は他の銀河に比べて大いに異なることが知られている。Von der Linden et al. (2007) においては、BCGs は他の早期型銀河に比べて赤く、より大きなサイズを持つという事が明らかになっている。同時に一部の BCGs の形態は楕円型に加えて広がった形状がある cD 型に分類されることもある。一方で以上に挙げられた結果は近傍の成果であり、高赤方偏移の探査は $z < 2$ で留まっている。BCGs の理論予測は行われており、他の楕円型銀河よりも早期の $z \sim 3$ に大半の星形成が行われ、その後衝突を経て一つの巨大な銀河になると考えられている (De Lucia & Blaizot 2007)。理論との比較の為に $z > 3$ という高赤方偏移下での観測による探査が肝要となっている。そこで我々の研究グループで行った HSC-SSP データを用いて検出した 179 個の原始銀河団候補 (Toshikawa et al. 2018) を対象とした $z \sim 4$ の proto-BCGs 候補の探査を行っている。ライマンブレイク銀河の明るい側に多いとされている低赤方偏移の混入天体を我々独自の手法で取り除いた後、本研究では原始銀河団メンバー銀河の中で最も明るく、他のメンバー銀河と比較しても特異的に明るい銀河を BCGs の祖先と考えられる proto-BCG 候補として、58 天体を選択した。現在、 $i-z$ の色分布を proto-BCGs 候補、原始銀河団メンバー銀河、フィールド銀河の 3 サンプルにおいて比較を行っている。色の等級依存性を考慮しても、proto-BCGs 候補は他の銀河に比べても赤いという事がわかった。 $i-z$ はダストの量と相関があるので、今回の結果は proto-BCGs 候補は既に $z \sim 4$ において他の銀河に比べてダストが多い事を示している。本講演ではこれらの候補天体の選択方法および諸性質を同時代の他銀河と比較した結果について報告する。

1. A. Von Der Linden et al. MNRAS 379 867 (2007)
2. G. De Lucia and J. Blaizot MNRAS 375 2 (2007)
3. J. Toshikawa et al. PASJ 70 (2018)

22 すばる HSC サーベイ領域内 weak lensing 同定銀河団の X 線を用いた系統的解析

吉田 篤史 (名古屋大学 X 線グループ (Ux 研) M1)

Weak lensing は力学平衡等の物理的仮定を介さずダークマターの質量やその分布を直接抽出することができる唯一の手法であり、近年の銀河団研究において大きな成果を挙げている。現在進行中のすばる望遠鏡搭載 Hyper Suprime Cam を用いた戦略的観測プログラムでは、1400 平方度をカバーする大規模なデータから weak lensing を用いた質量マップの作成を目指している。現時点では ~ 160 平方度領域をカバーした銀河団カタ

ログが作成され、 $10^{14}h^{-1}M_{\text{sun}} < M_{500} < 10^{15}h^{-1}M_{\text{sun}}$ の幅広い質量レンジで 65 もの weak lensing 同定銀河団が検出された (Miyazaki et al. 2017, PASJ)。そこで我々はこのサンプルを用いて銀河団のスケール則などを調べることを目的に X 線を用いたフォローアップ計画を開始した。

我々はまず、X 線天文衛星 XMM-Newton のアーカイブデータを用いてサンプル領域を調査した。その結果、観測のあった 13 個の weak lensing 質量分布ピーク周辺領域のうち、バックグラウンドノイズの影響が大きかった 1 領域を除いた 12 領域で質量分布ピークから半径 0.5Mpc 以内に検出器の PSF に対し有意に広がった X 線源を確認した。またこれらの X 線源のイメージ・分光特性から銀河団ガスの光度を求めたところ、X 線光度と weak lensing 質量の関係は X 線同定銀河団と比較すると系統的に X 線光度が低いという示唆を得た。これは、従来の X 線を中心としたサンプルは X 線で明るいものをバイアスして抽出している可能性を示す結果である。本講演では、可視光データから得た銀河分布やダークマター分布との比較も合わせ、その力学状態も議論する。

23 重力レンズ効果と ALMA 干渉計で探る初期銀河の星形成活動

菊地原 正太郎 (東京大学 宇宙線研究所 M2)

宇宙史初期 (赤方偏移 $z \gtrsim 6$) における銀河の典型的な星形成活動は、 $z \gtrsim 6$ において観測され得る銀河が極めて明るいものに偏っているために、正しい理解が進んでいない可能性がある。そこで私は、Hubble 宇宙望遠鏡 (HST) による大規模サーベイ (REionization Lensing Cluster Survey: RELICS) に着目した。RELICS は大質量 ($> 4 \times 10^{14} M_{\odot}$) の銀河団を含む領域を 46 個 ($\sim 200 \text{ arcmin}^2$) 撮像し、321 個の $z \sim 6-8$ 銀河候補天体を検出した [1]。これらは前景銀河団の重力レンズ効果を受けているため、観測者からは明るく増光されて見え、かつ本来は典型的な明るさをもつような銀河を多数含む。

本研究では RELICS 銀河の星形成活動を見積もるため、これらの ALMA 干渉計データを解析した。重力レンズ効果解析とスタッキング解析を併用することで $z \gtrsim 6$ 銀河の星形成活動を評価し、dusty な爆発的星形成の可能性を示唆した。また星間ダストの温度による不定性を取り除くため、RELICS 銀河の ALMA バンド 8 での検出可能性をシミュレートした。

また本講演では、本研究で作成した RELICS 銀河団の質量分布モデルについても併せて示す。さらにモデリングの過程で得られた結果の一例として、SPT0615-JD の赤方偏移検証について述べる。この SPT0615-JD は SPT0615-57 銀河団領域にある弧状銀河であり、既知の弧状銀河の中で最遠方の $z = 9.9$ にある可能性が指摘された [2]。そこで私は SPT0615-57 の質量分布モデルを作成し、このモデルの下で $z = 9.9$ を仮定した SPT0615-JD がどのように観測されるかを計算した。その結果が実際の観測結果と整合していたため、 $z = 9.9$ の可能性が再確認された。

初期宇宙における典型的な星形成活動は、重力レンズ効果による増光と、ALMA での大規模観測があつて初めて理解できる。その点にいち早く着目し、重力レンズ効果解析と ALMA データ解析の両者に複合的に取り組んだのは、本研究にしかない特色である。

1. Salmon et al. 2017, arXiv:1710.08930
2. Salmon et al. 2018, arXiv:1801.03103

24 重力レンズ効果の解析と ALMA の水分子輝線撮像 データに基づく遠方銀河の観測的研究

島田 優也 (名古屋大学 天体物理学研究室 (A 研) M1)

$z = 1-4$ の宇宙論的遠方に多く存在するサブミリ波銀河 (SMG) は、近傍の銀河に比べて高い星形成率 ($100-1000 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$) を持つ銀河である。この活発な星形成活動の要因を理解することは、銀河進化を解明する上で大変重要である。遠方銀河の観測は難しいが、重力レンズ効果を用いることでこの問題を解決することができる。重力レンズ効果とは、背景光源と質量の大きい前景天体が一直線上に並んだ際に、本来の光源の位置や大きさは異なる像が観測される現象である。この効果により、SMG を望遠鏡本来の分解能を超えた高分解能で観測することができる。

SDP.81 は、 $z = 3.042$ に存在する SMG が、 $z = 0.299$ に位置する大質量楕円銀河によって、強い重力レンズ効果を受けている銀河-銀河重力レンズシステムである。本研究では、サブミリ波干渉計 ALMA (角度分解能 160 ミリ秒角) によって得られた、SDP.81 の水分子輝線 $\text{H}_2\text{O}(J_{\text{KaKc}} = 2_{02}-1_{11})$ と一酸化炭素の二つの輝線 $\text{CO}(J = 5-4, 8-7)$ のデータ [1] に対して、重力レンズ効果の補正を行なった。 $\text{H}_2\text{O}(2_{02}-1_{11})$ は、強い赤外線輻射場に置かれた暖かく高密度な分子ガスをトレースし、近傍の爆発的星形成銀河や活動銀河核 (AGN) を持つ銀河において検出されている [2]。この $\text{H}_2\text{O}(2_{02}-1_{11})$ のデータを用いた重力レンズ効果の補正結果から、SDP.81 中での $\text{H}_2\text{O}(2_{02}-1_{11})$ 空間分布を 300 pc のスケールで求めた。また、 $\text{CO}(5-4, 8-7)$ のデータに対しても同様の解析を行った。解析結果を比較すると、 $\text{H}_2\text{O}(2_{02}-1_{11})$ と高励起の $\text{CO}(8-7)$ の空間分布は 300 pc のスケールで位置やサイズが似ていることが分かった。この要因として、 H_2O が高密度 (水素分子の密度 $n(\text{H}_2) > 1.5 \times 10^5 \text{cm}^{-3}$) な分子ガスに付随している可能性や、爆発的星形成領域や未発見の埋もれた AGN が存在する可能性が考えられる。今後は、より高励起の $\text{CO}(10-9)$ の空間分布の解析や他準位の水分子を観測などから、銀河の内部構造や星形成活動の要因を明らかにする。

1. ALMA Partnership 2015, ApJ, 808, L4
2. Liu L. et al. 2017, ApJ, 846, 5

25 超臨界降着 AGN のミリ波/サブミリ波観測から探る銀河と超巨大ブラックホールの共進化

山下 祐依 (東京大学 理学系研究科 天文学専攻 M2)

近傍宇宙における超巨大ブラックホール (SMBH) 質量と母銀河のバルジ質量との間の強い相関は銀河と SMBH の共進化を示唆しているが [1]、その相互作用の物理的過程は未だ解明されていない。そこでその物理的過程として有力視されているのが、活動銀河核 (AGN) の輻射圧等に駆動されたガス流 (アウトフロー) が母銀河の星生成活動に影響を及ぼす「AGN フィードバック」である。SMBH への質量降着が AGN へエネルギーを供給することから、高い質量降着率を示す天体は重要な研究対象となる。特に、質量降着率を表す Eddington 比 (λ_{Edd}) が理論限界値 (=1) を超えるほどの激しい質量降着 (超臨界降着) を示す天体は、ブラックホールの成長史において非常に重要な進化段階にあることが理論的にも示唆されている [2]。そこで本研究では、超臨界降着 AGN の分子ガスに着目し、以下の 3 つの研究課題について ALMA サイクル 6 に観測提案を提出した。(1) 電離ガスアウトフローが空間分解観測されている IRAS 04576+0912 ($\lambda_{\text{Edd}} = 1.15$) に対して $\text{CO}(2-1)$ 輝線観測を行い、分子ガスアウトフローを空間分解して検出する。そして多相ガスアウトフローの物理量 (空間分布, 質量負荷率等) を比較し、両者の母銀河への寄与を議論する。(2) 最遠方 radio-loud クエーサーのひとつ ($z=5.18$) である J0131-0321 ($\lambda_{\text{Edd}} = 3.1$) に対して [CII] 輝線観測を行い、その観測値から母銀河の力学的質量, 星生成率を推定する。それらを SMBH の質量, 質量降着率と比較し、 $z>5$ においても銀河進化と SMBH 進化に相関はみられるのか検証する。(3) Swift/BAT AGN 分光サーベイカタログ [3] から選出した超臨界降着 AGN 多天体サンプル ($z<0.1$) に対して $\text{CO}(2-1)$ 輝線観測を行い、超臨界降着 AGN の分子ガスの性質を統計的に調査する。さらに (2), (3) のサンプルに対しては野辺山 45m 鏡による CO 輝線の観測を実施した。講演では、野辺山 45m 鏡の観測の成果と ALMA を用いた今後の研究について述べる。

1. Kormendy & Ho 2013, ARA&A, 51, 511
2. Kawaguchi et al. 2004, A&A, 420, L23
3. Koss et al. 2017, ApJ, 850, 74

26 ダスト・ガス間の速度差を考慮した巨大ブラックホールへの質量降着

一色 翔平 (北海道大学 宇宙物理学研究室 D2)

初期宇宙の超巨大ブラックホールは、既に大量のダストに覆われていることが観測により示唆されている (e.g., Maiolino et al. 2004)。ダストは紫外線を効率良く吸収する事でガスダイナミクスに影響を与えるため、巨大ブラックホールの成長過程を理解する上で必要不可欠である。Yajima et al. (2017) は、ダ

ストを考慮した輻射流体計算により、巨大ブラックホールへの質量降着過程を調べた。その結果、ダストに加わる輻射圧によって、ブラックホールへの降着率はダストがない場合と比べて一桁程度小さくなることが判明した。加えて、ダストの影響を考慮しない場合と比較して、降着率の時間変動も小さくなることも合わせて判明した。しかし、この計算では、ダストとガスは完全にカップルした一流体として扱っている。

本研究では、本研究では、大小2サイズのダストとガスの三流体を考慮した次元輻射流体計算により (Ishiki et al. 2017)、巨大ブラックホール周辺のダストの空間分布や質量降着に与える影響を調べた。この時、ダストとガスの衝突による抗力に加え、ダストチャージによる抗力の影響も考慮した。

数値シミュレーションの結果、強い輻射圧によってダストの流れはせき止められ、ダストが溶けると予想される半径よりも広い範囲でダストのない領域がブラックホール周辺にできることが判明した。加えて、ダストとガスの速度差を考慮した場合、速度差を考慮しなかった場合と比較して、降着率の時間平均は大きくなることが判明した。

1. Maiolino, R. et al., 2004, Natur, 431, 533
2. Yajima, H. et al., 2017, ApJ, 846, 3
3. Ishiki, S. et al., 2018, MNRAS, 474, 1935

27 ライマン α 輝線天体における活動銀河核の寄与

曾我 健太 (筑波大学 宇宙理論研究室 M1)
LAE (Lyman Alpha Emitter) は水素原子の $\text{Ly}\alpha$ 輝線で輝く高赤方偏移天体で、銀河形成初期の若い銀河である。AGN (Active Galactic Nuclei) は銀河中心領域に存在する非常に明るい天体で、この活発な活動性は中心に存在するブラックホールに由来すると考えられている。また、超巨大ブラックホールの質量と銀河のバルジ質量には強い相関があることが知られており、これは銀河とブラックホールの共進化を示唆する。しかし、どのような過程で銀河とブラックホールが共進化してきたかは明らかでない。銀河形成初期の若い銀河である LAE に AGN の存在を裏付けることができれば、AGN および巨大ブラックホールの形成過程や形成時期に関する手がかりが得られると考えられる。

本研究では AGN が銀河中のガスの電離状態にどのような影響を与えるかを電離光子の輻射輸送を解くことで評価した。シミュレーションでは、電離光子源が星のみの場合と星と AGN の両方が存在する場合の2つのモデルを仮定し、ガスの電離度と $\text{Ly}\alpha$ 光度を両モデルで比較した。その際、Case B 近似を用いて輻射輸送方程式を解いた。輻射強度は星は黒体輻射、AGN はべき乗型を仮定した。

本研究で電離度と $\text{Ly}\alpha$ 光度は AGN に強く影響されることがわかった。電離光子源が星のみのモデルに比べて AGN が存在する場合は、ガスがより電離され、 $\text{Ly}\alpha$ 光度が増加した。ま

た、AGN は周囲のガスを加熱することで再結合による $\text{Ly}\alpha$ 光度だけでなく、衝突励起による $\text{Ly}\alpha$ 光度も高めていた。以上より、初期銀河における AGN の影響は大きいと考えられる。

1. Hasegawa, K., & Umemura, M. 2010, MNRAS, 407, 2632
2. Susa, H. 2006, PASJ, 58, 445
3. Gronke, M., & Bird, S. 2017, apj, 835, 207

28 VLA-COSMOS 領域における銀河の光度・密度進化

河野 海 (名古屋大学 銀河進化学研究室 (Q研) M2)

銀河は数千億個の星、星間ダスト、ガスを構成要素としてそれらが相互作用しながら進化する系である。銀河の光度や個数が各宇宙年齢によってどのように変化してきたか検証し、その振る舞いを説明するモデルを構成することは銀河形成・進化の観点から重要な課題である。

本研究では、VLA-COSMOS field (1.77deg^2) の 3GHz 観測から得られた 7729 天体をデータとして用いた。光度・個数密度の赤方偏移依存性を明らかにするために、 $z < 5.5$ の赤方偏移を9つの領域に分割して、 C^- 法 (Lynden-Bell 1971) を用いて光度関数の導出を行った。 C^- 法は、 $1/V_{\text{max}}$ 法をはじめとした他の導出法と比較してサンプルサイズによらず、最も正確な光度関数の与えることが検証されている。星形成銀河 (SFG)、活動銀河核 (AGN) に対して光度関数をフィットすることで銀河進化を算出した結果、SFG は $z = 3$ 程度に、AGN は $z = 1.5$ 程度に光度・密度のピークを持つことを確かめた。これは、赤外線における観測結果 (Gruppioni et al. 2013) とも整合的である。これに加えて、将来的に Square Kilometre Array (SKA) で検出可能な銀河計数を算出した。その結果、2020 年から運用が開始される SKA 計画の第一期にあたる SKA1 では、単位立体角あたり SFG は 5×10^9 個、AGN は 10^7 個の観測が見込まれることが分かった。

これに加えて、遠方銀河からの銀河計数への寄与の見積りを目的とした、銀河団起源の重力レンズ効果による増光効果の評価と、VLA-COSMOS 領域の多波長データに対する解析を行う。cm 波データに加え、同領域の GALEX、IRAC、HSC 等のデータを用いて多波長光度関数の進化を評価することで、EoR 直前の $z = 6$ までの SFG、AGN 由来の電離光子生成率について、観測的進化モデルの作成を行う。

1. Lynden-Bell, D. 1971, MNRAS, 155, 95
2. Smolcic, V. et al. 2017 A&A 602, A1

29 すばる HSC を用いた初期銀河から宇宙大規模構造へと続く Ly α 巨大構造の初検出

鹿熊 亮太 (東京大学 宇宙線研究所 M1)

宇宙再電離へ観測的な制限をかける、 $z \gtrsim 6$ の非常に暗い銀河・水素ガスの『個々の検出』は次世代の望遠鏡 (JWST, TMT, SKA, etc.) を待たなければならない。そこで我々は、次世代の望遠鏡を待たずともこれらを『検出』することができる、Cross-Correlation Line Intensity Mapping (CCLIM) という統計的手法に着目した。CCLIM では、個々の暗い天体の検出は行わない。明るい銀河周囲には暗い銀河・水素ガスが広がり、それらから輝線が出ていると考えられる。そこで、多数の明るい銀河の位置と、輝線をトレースする狭帯域フィルターの撮像画像の全ピクセルの輝度分布との距離相互相関を取ることで、広がった輝線源を『統計的に検出』する (文献 [1])。

我々は、すばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ (Hyper-Suprime Cam, HSC) を用いて得られた、 $z = 5.7(6.6)$ の 425 (396) 個の Lyman α emitter (LAE) の位置と、同じ赤方偏移の Ly α 輝線をトレースする狭帯域フィルター撮像画像の全ピクセルの輝度分布との相関を取った。そして、HSC による非常に広視野 (約 4 平方度) の画像と、CCLIM という統計的に優れた手法とが組み合わさったことで、 ~ 300 kpc まで続く Ly α 巨大構造を初めて検出した。過去の研究で、LAE 周りには銀河のダークマターハローのスケール程度、 ~ 40 kpc まで広がる Ly α 源はすでに見つかった (文献 [2],[3])。今回我々が検出した Ly α 巨大構造は、この広がりからつながり、そして、それをはるかに超えるスケールの宇宙大規模構造へと続くものである。

1. Croft, R.A.C., Miralda-Escudé, J., Zheng, Z., et al. 2016, MNRAS, 457, 3541
2. Momose, R., Ouchi, M., Nakajima, K., et al. 2014, MNRAS, 442, 110
3. Leclercq, F., Bacon, R., Wisotzki, L., et al. 2017, AAP, 608, A8

30 すばる HSC 観測と多波長データで探る高赤方偏移 AGN の宇宙再電離への寄与

下舘 果林 (東京大学 宇宙線研究所 M1)

$z \sim 1100$ において陽子と電子が再結合して宇宙は原子で満たされるようになった。その後、 $z \sim 6-10$ の宇宙において、銀河間物質の原子が完全に電離したと考えられている。これを宇宙再電離とよぶ。宇宙初期において紫外線を出す天体が、電離光子源であると言われているが、宇宙再電離を引き起こした原因は明らかになっていない。過去の研究では、宇宙再電離を担う主な電離光子源は星形成銀河であり、活動銀河核 (AGN) はその数が少ないためほとんど寄与しないと考えられてきた (e.g. Masters et al. 2012)。しかし近年の多波長観測によって、これまで検出されていなかった暗い AGN が 10 個程度見つかり、

暗い AGN が宇宙再電離に大きく寄与する可能性が指摘されている (Giallongo et al. 2015; cf. Parsa et al. 2018)。本研究は、すばる HSC 観測で得られた $z \sim 4-7$ 天体の大サンプルに対して、AGN 活動を多波長データで探り、暗い AGN の宇宙再電離への寄与を統計的に明らかにすることを目標とする。最初のステップとして、我々はすばる HSC 探査の COSMOS 領域における暗い AGN を、X 線および電波観測、可視光分光データを元に約 50 個同定した。このようにして従来より約 5 倍大きなサンプルを得ることができた。得られたサンプルから紫外線光度関数を求め、電離光子放射量の下限值を見積もった。本講演では、得られた下限値から、宇宙再電離に対する AGN の寄与を議論する。

1. D. Masters et al. 2012, arXiv:1207.2154
2. E. Giallongo et al. 2015, arXiv:1502.02562
3. S. Parsa et al. 2018, arXiv:1704.07750

b 講演 (b1-8)

31 銀河スケール則の拡張と統一

吉田 俊太郎 (名古屋大学 銀河進化学研究室 (Ω 研) M1)

近年観測技術の向上により様々な波長帯で銀河観測が活発に行われており、以前は謎に包まれていた銀河の詳細な性質が解明されつつある。銀河主系列や Kennicutt-Schmidt 則は広く知られたスケール則であり、これらは銀河内の星質量・ガス密度と星形成率との関連を直感的に示している。しかしながら、これらは観測から得られた経験則であり、物理的背景に関しては各論的に議論されるのみであった。銀河進化の分野では星の誕生・進化による化学進化の影響が非常に重要であり、それゆえに星形成率は最も興味のある物理量である。広く銀河全体に適用できる統一的なスケール則を導き、物理的な理解を得ることができれば銀河ガスが星へと成長していく詳細なメカニズム、すなわち銀河進化の理論に対する重要な制限を与えることができると考えられる。

そこで本研究ではスケール則の拡張と統一によって背後にある本質的な物理過程を明らかにするため、the GALEX-SDSS-WISE Legacy catalog (GSWLC) と ALFALFA (The Arecibo Legacy Fast ALFA Survey) による HI (中性水素) データカタログを用いて解析を行い、2つのスケール則を統合することで星形成および星質量への銀河ガスの寄与を定量的に評価する。これまでは星形成に重要な H₂ (水素分子) のサンプル数が少ないために統計的な議論を行うことが困難であったが、本研究では Obreschkow & Rawlings (2009) に基づき銀河の形態に依存する H₂/HI 比を用いて H₂ ガス量を推定することで統計的な議論を可能にした。

本発表では現在の観測データをもとに得られた銀河ガスと星質量、星形成率の関係を議論するとともに Tully-Fisher 関係などその他の銀河スケール則との対応についても言及し、統

一的なスケーリング則への展望を議論する。

1. Salim, S. et al. ApJS, 227, 2S (2016)
2. D. Obreschkow and S. Rawlings MNRAS, 394, 1857O (2009)
3. Ciesla, L. et al. A&A, 608A, 41C (2017)

32 ダークマターハローと恒星の相互作用に関する数値的研究

藤本 航輔 (千葉大学大学院融合理工学府数学情報科学専攻情報科学コース 石山研究室 M1)

ダークマターがニュートラリーノであるなら、最小スケールのダークマターハロー(マイクロハロー)は地球質量程度であると考えられている。銀河スケールなどの比較的大きいハローの中心部の密度構造は、半径の-1乗程度に比例すると考えられていたが、マイクロハローでは中心部の密度構造は半径の-1.5乗から-1.3乗と大スケールのハローより鋭いカusp構造であり、ハロー質量が大きくなるにつれてカuspが徐々に緩やかになることが分かってきた。またダークマター対消滅によるガンマ線のフラックスは、局所密度の2乗に比例するため、このようなマイクロハローが太陽近傍に生き残っているかは、ダークマター間接検出を考える上で重要である。

太陽近傍には多数の恒星が存在しており、それらが近接遭遇した時の摂動によりハローが崩壊する可能性がある。先行研究によると、最小スケールのハローでは恒星による近接遭遇を経験してもほとんど破壊されることなく生き残ると考えられている。

本研究では先行研究を拡張し、最小スケールだけでなく、同様に鋭いカusp構造をもつそれより大きい質量のハローに対して、衝突パラメータを系統的に変化させた恒星遭遇の N 体シミュレーションを行い、密度構造の変化を調べた。その結果、最小スケールの10倍程度の質量を持つハローでは、恒星からハローの中心までの距離がビリアル半径の約0.15倍から2.5倍までの摂動では、少なくとも高密度な中心領域は生き残るという結果が得られた。本講演では、これらのシミュレーション結果について報告するとともに、より幅広い質量のハローについてもシミュレーションを行った結果について報告する予定である。

1. Tomoaki Ishiyama et al., 2010, APJ, 723, 195-200
2. Tobias Goerdt et al., 2007, MNRAS, 375, 191-198
3. Green et al., 2007, MNRAS, 375, 1111-1120

33 銀河内のダストの質量進化と星形成タイムスケールの関係

長崎 早也香 (名古屋大学 銀河進化学研究室 (Ω 研) M1)

銀河に存在する固体微粒子(ダスト)は星形成率(SFR)やスペ

クトルエネルギー分布(SED)などの銀河進化を反映する物理量に強く影響を及ぼす。その影響を与えるダストの形成の過程はダストの種類、量、サイズに依存している。従って、その形成過程の違いを考慮したダストの質量進化を理解することは、銀河進化を理解するうえで重要である。しかし、銀河に存在するダストは形成と成長、破壊を同時に経験しつつ進化するため、その進化は複雑である。

銀河のダスト質量進化を説明するプロセスには星からの供給、成長、破壊があげられる。星からの供給にはAGB星とからの寄与とII型超新星からの寄与があり、ダストの成長には星間分子雲中でのダスト表面へ重元素が降着することによるダストの質量増加や合体(coagulation)が作用する。破壊機構として超新星爆発時の衝撃波によるダスト破壊やサイズ分布を変形する過程である破砕(shattering)がある。Asano et al.(2013)はこれらのダストの形成源や形成過程を考慮したダスト質量の進化モデルを構築した(Asanoモデル)。このAsanoモデルでは、ダスト質量進化がこれらのプロセスを通じて星形成タイムスケールに依存する。星形成タイムスケールは銀河のダスト質量進化を考える上で重要であるにも関わらず、この依存性の検証はまだ十分にされていない。

本研究では、Asanoモデルに基づいてダスト質量が星間物質中で成長できる星形成タイムスケールを定量的に検証した。これにより、あるタイムスケールを境にダスト成長が効き始めることが見出された。本講演ではAsanoモデルについて紹介したのちに星形成タイムスケールについて議論し、今後の展望について述べる

1. Asano et al. 2013, EPS, 65,213
2. Asano et al. 2014, MNRAS,432,637

34 PACSを用いた超高光度赤外線銀河Mrk231の分光学的調査

福岡 遥佳 (国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所 M1)

超高光度赤外線銀河(UltraLuminous InfraRed Galaxy; ULIRG)は、エネルギーの大半を赤外線で放射しており、光度が太陽の1兆倍を超える($L_{IR} \geq L_{\odot}$)銀河のことである。ULIRGは近傍宇宙では非常にまれな天体である反面、 $z = 1 \sim 2$ では個数・エネルギーともに赤外線領域で重要な割合を占めるため、銀河の進化において重要な役割を果たすと考えられている。過去の研究で、ULIRGは他の銀河では見られないOHや H_2O による吸収線が発見されている。しかしこの吸収線の原因は、検出される吸収線の少なさや分解能の低さのため未解明であった。そこで、イオン化された原子及び分子の領域を動力学的に見分け、星間物質の状態を研究することで、この重要な進化段階の性質を明らかにするためにPACSを用いた分光観測が考案された。本発表では、PACSを用いたMrk231の観測結果及び考察についての論文(Fischer et al 2010)のレビューを行

う。ここで、Mrk231 は $3.2 \times 10^{12} L_{\odot}$ の非常に明るい ULIRG である。観測結果によると、PACS の測定範囲内の今まで観測されたすべての遠赤外線微細構造線が検出され、これらの微細構造線は、低光度銀河と比較して遠赤外線光度に対しての値が 1~2 桁程度不足していることが分かった。また、流出速度が 1400km/s に及ぶ大量の OH, H_2O 分子流が発見された。これは、銀河合体の間に分子円盤が散逸崩壊していることを示唆する。以上の結果について発表する。

1. J. Fischer, et al. 2010, A&A 518, L41

35 X線天文衛星「ひとみ」によるペルセウス銀河団を用いた 3.5keV 輝線の検証

野村 義貴 (埼玉大学 田代・寺田研究室 M1)
ダークマターは 1970 年代に銀河の回転速度の観測によってその存在を示唆されてから現在に至るまで、間接的な証拠は数多く見つかっているがその正体は未だ不明である。現在、ダークマターの候補はニュートリノやアクシオンなどが挙げられており、その候補の 1 つで通常のニュートリノと逆向きのスピンを持つ仮想粒子であるステライルニュートリノは崩壊輝線が X 線帯域にくることが予言されている。

Bulbul ら (2014) は、エネルギー分解能が 100 eV の XMM-Newton 衛星の MOS と PN を使って、多数の銀河団の X 線スペクトルを足し合わせたデータから、かすかな輝線を等価幅 2.9 eV で 3.5 keV 付近に検出した [1]。この未知の輝線はペルセウス銀河団で最も強く検出されたが、田村ら (2015) によりすぎく衛星の検出結果と矛盾しているという報告もなされた [2]。この輝線はステライルニュートリノで説明できるが、XMM-Newton 衛星とすぎく衛星による観測は X 線 CCD カメラによるものでエネルギー分解能が不十分であったため、原子由来の輝線の混入を避けられず、非常に弱い信号を分光できなかった。そこで、ひとみ衛星に搭載された X 線マイクロカロリメータである SXS (エネルギー分解能が FWHM で 4.9 eV) によって観測したペルセウス銀河団の 3.5 keV 付近の輝線を探索した結果、信号は 99% 以上の信頼度で上限が等価幅 1.0 eV と求まり、過去の検出値を棄却した [3]。

本発表は [3] のレビューであり、過去の検出値が棄却される過程を議論する。

1. Bulbul, E., Markevitch, M., Foster, A., et al. 2014, ApJ, 789, 13
2. Tamura, T., Iizuka, R., Maeda, Y., Mitsuda, K., & Yamasaki, N. Y. 2015, PASJ, 67, 23
3. Hitomi Collaboration, 2017, ApJ, 837, 15

36 すざく衛星による楕円銀河 NGC 4325 の高温ガスの解析

辻 歩美 (金沢大学 宇宙物理学研究室 M1)

銀河団は数百から数千の銀河が重力的に束縛された宇宙最大の天体であり、衝突・合体によりボトムアップ的に進化していく。銀河団内は温度数千万 K の銀河団ガスで満たされており、衝突にともなって銀河の周辺の高温度ガスと銀河団ガスとの間には動圧剥ぎ取りなど、さまざまな相互作用が生じる。観測によりその特徴を探ることで、銀河団の衝突・合体の理解につながることを期待される。

NGC 4325 は、おとめ座銀河団中心の巨大な楕円銀河 M87 の南西およそ 0.8 Mpc に位置する X 線で明るい楕円銀河で、NGC 4325 を中心とする銀河群がおとめ座銀河団に衝突していると考えられている。同天体は Chandra 衛星や XMM-Newton 衛星でも観測されており、元素量・表面輝度分布の異方性が示唆されている (Lagana et al. 2015, A&A, 573, 66; Russell et al. 2007, MNRAS, 378, 1217)。NGC 4325 は 2014 年 12 月にすぎく衛星で 17 ks 観測されており、本研究ではそのデータを解析した。その結果、NGC 4325 に付随するガスの温度は ~ 1 keV、元素量は銀河中心で ~ 0.7 太陽組成であった。この結果は XMM-Newton 衛星の結果と矛盾しない。また X 線輝度分布から、薄く広がったガスが北方向にのびている兆候が見られた。同様の兆候が Chandra 衛星のイメージにも見られており、おとめ座銀河団の銀河団ガスとの相互作用によるものである可能性が考えられる。本講演では表面輝度分布の異方性や高温ガスの温度・質量について議論する。

1. Lagana et al. 2015, A&A, 573, 66
2. Russell et al. 2007, MNRAS, 378, 1217

37 XMM 衛星データを用いた MCXC J0157.4-0550 の 2 次元温度密度構造の解析

楊 冲 (広島大学 高エネルギー宇宙・可視赤外線天文学研究室 M2)

銀河団は宇宙最大の自己重力で束縛された系として宇宙最大の天体であり、数百から数千個の銀河を含む天体である。銀河団の観測的性質から、宇宙論パラメーターを制限することができる。宇宙の大規模構造の進化を理解するため、銀河団の衝突や合体を考察する必要がある。衝突銀河団の観測的に研究することで、可視光による銀河、X 線による高温ガス、重力レンズによる暗黒物質の衝突過程での緩和の違いがわかり、銀河団の形成、進化の解明が可能になる。これまで X 線で見つかった衝突銀河団が主に研究されてきたが、すばる HSC などのサーベイにより可視光による衝突銀河団の発見が進んでおり、X 線と可視光で発見された衝突銀河団は異なる衝突フェーズにあると考えられるので、両者の比較は重要である。衝突銀河団 MCXC J0157.4-0550 は HSC サーベイ及び XMM のデータが両方が

あり、重力レンズのの情報も使える。MCXCJ0157.4-0550 は赤方偏移 0.1289 で、西の方はメイン銀河団で、北の方は銀河群である。可視バンドで銀河団は西の領域で集中している。X線バンドで渦巻の形の特徴があり、衝突してきてる銀河団ガスが動圧を受けているような珍しい構造である。XMM-Newton のデータから、低エネルギーバンド (0.4-2.3keV) と高エネルギーバンド (2.3-7.5keV) を分けて、ハードスネス比マップを作り、2次元温度マップを求め、2つの銀河団ピークの周辺で温度構造が異なることが見えた。エントロピーマップはシミュレーションと比べ、衝突過程を推測した。本講演では、衝突銀河団 MCXCJ0157.4-0550 の2次元温度マップや圧力、ガス密度、エントロピーマップを議論することにより、この衝突銀河団の状態について考察する。

1. J. Patrick Henry ApJ 615(2004)

38 Subaru / Hyper Suprime-Cam 狭帯域フィルターを用いた活動銀河核探査

Iwashita Kohei (愛媛大学 M1)

活動銀河核 (AGN) とは、銀河中心にある巨大ブラックホールに物質が降着し重力エネルギーを解放して明るく光る天体である。この AGN は、巨大ブラックホールの成長過程と考えられているため、AGN の統計的性質を正しく理解することは、巨大ブラックホールの宇宙論的進化を解明するために必要である。この AGN の統計的調査のためには、より完全性の高い AGN サンプルを構築しなければならない。

これまでの AGN 探査は様々な手法で行われてきた。しかし、探査の手法によって検出される AGN は異なっている。そのため、従来の手法では発見できていない AGN も存在する可能性がある。そこで我々は、狭帯域フィルターを用いた AGN 探査に注目した。狭帯域フィルターは観測体積が小さいという理由からこれまで AGN 探査には使用されてこなかった。しかし、すばる望遠鏡の Hyper Suprime-Cam (HSC) により従来に比べて高感度で広域の狭帯域撮像観測ができるようになったため、系統的な AGN 探査が可能になった。

狭帯域フィルターでフラックス超過を示す天体は輝線天体、すなわち AGN か星形成銀河のどちらかである。しかし、1つの狭帯域フィルターの超過だけでは、この切り分けは不可能である。そこで、AGN 由来の輝線を捉えるように複数の狭帯域フィルターを組み合わせることで AGN 選択が可能になる。本研究では、HSC の狭帯域フィルターを複数用いた観測計画である CHORUS プロジェクトにより得られた可視測光データを用いて、複数の狭帯域フィルターで超過を示す天体の探査を行った。

その結果、 $\text{Ly } \alpha$ 輝線と CIV 輝線の両方を放射する天体を複数発見することに成功した。CIV 輝線は星形成銀河からは強く放射されないため、発見された輝線天体は AGN であると断定できる。講演ではこのようにして選択された AGN の特徴や性質につい

て報告する。

c 講演 (c1-21)

39 Search for the most massive overdensities at $z=2.2$ with Subaru HSC

Liang Yongming (国立天文台 M1)

In the Mapping the Most Massive Overdensities Through Hydrogen (MAMMOTH) project, Cai+2016 has conducted n-body and radiative transfer simulations to study the relation between Lyman-alpha absorptions and halo mass distribution. They found Coherently Strong Lyman-alpha Absorption Systems (CoSLAs) could be ideal tracers for the most massive overdensities. With candidate fields selected by CoSLAs from SDSS-III/BOSS data, we carry out g-band and narrow band imaging observations using Subaru HSC, to pick up Lyman-alpha emitters (LAEs) at $z=2.2$ and make clustering analysis. Through these works, we expect to construct a statistical sample of massive overdensities at the so-called "Cosmic Noon".

1. Cai, Z. et al. 2016a, APJ, 833, 135
2. Cai, Z. et al. 2016b, APJ, 837, 71
3. Lee, K-G. et al. 2014, ApJ, 795, L12

40 ダークマターハローのカスプ-コア遷移におけるガスの力学的作用

佐々木 竜志 (筑波大学 宇宙理論研究室 M1)

現在コールドダークマター (CDM) モデルは、宇宙の構造形成のパラダイムとして広く受け入れられている。一方で、銀河よりも小さいスケールにおいては、重大な問題が指摘されている。近年の近傍矮小銀河の観測ではダークマターハロー (DMH) 内の密度分布は銀河中心においてコア構造 (平坦構造) であることが知られている。しかし、CDM モデルに基づく宇宙論的 N 体シミュレーションでは密度分布が中心部でカスプ構造 (中心で発散する構造) をとるという結果が得られている。この観測と理論の不一致がカスプ-コア問題である。

本発表では Ogiya & Mori(2011) と Ogiya & Mori(2014) のレビューをする。Ogiya & Mori(2011) では超新星のフィードバックで掃き出される星間ガスの質量損失時間に着目をした。瞬間的な質量損失を仮定した場合でも、カスプは一時的に平坦化されるがしばらくするとカスプが回復してしまい、カスプからコアへの平坦化は見られなかった。以上より今回扱ったような単純な質量放出モデルでは、カスプの平坦化に十分な影響を与えないという結論を得た。つまり、一般に言われているような超新星のフィードバックのモデルでは DMH の観測と理論の矛盾を解決する事ができないことを主張した。

一方で、Ogiya & Mori(2014) ではより現実的な星間ガスの運動モデルを検討した。超新星のフィードバックによりガスは

加熱膨張されるが、この膨張するガスは放射冷却によりエネルギーが散逸され銀河中心に落ち込むようになる。ガスが中心に集められると高密度領域ができ、そこで再び星が生成され、さらなる超新星爆発を誘起する。この再帰的なガスの運動によりガスは膨張収縮を繰り返し、重力ポテンシャルが変化していく。このガスの重力ポテンシャルの振動がDMの運動に影響を与える。中心部のDM粒子はエネルギーを獲得して、より外側に膨張することになる。この過程がDMHの中心部のカスプからコアへの遷移過程のカギを握る事がわかった。

1. Ogiya, G., & Mori, M. 2011 ApJ, 736, L2
2. Ogiya, G., & Mori, M. 2014 ApJ, 793, 46
3. Navarro, J. F., Eke, V. R., & Frenk, C. S. 1996a, MNRAS, 283, L72

41 棒渦巻銀河 NGC1300 における星形成活動と分子雲の性質

前田 郁弥 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 D1)

渦巻銀河の腕部では、顕著なダストレーンが見られその部分に分子ガスが存在しそこで星形成が起こり、腕に沿って HII 領域が形成されている。しかし、棒渦巻銀河の棒部では顕著なダストレーンが見られ星形成の母胎となる分子ガスが豊富にあると思われるが、重い星の形成は見られない。何が棒部での星形成を抑制しているのか長年の謎となっている。近年の研究により、腕部では分子雲同士が衝突し、星形成が誘発され重い星が形成されるが、棒部では分子雲衝突の相対速度が大きく、衝突している期間が短いため、重い星が形成されない可能性や、棒部では分子雲が重力的束縛されていない可能性などが言われているがはっきりとしたことはわかっていない。

この原因を観測的に詳しく調べるためには、棒部で重い星の形成が見られず腕部では星形成が見られる典型的な棒渦巻銀河を対象に、分子雲観測を行うことが必要である。そこで、我々はこのような特徴を顕著に示すプロトタイプの棒渦巻銀河 NGC1300 (距離 20Mpc) を観測対象とした。残念ながら、これまでこの銀河の棒部・腕部の分子ガス観測は行われておらず、星形成活動や分子雲の性質は定量化されていなかった。そこで、我々はこの研究の第一段階として、野辺山 45-m 望遠鏡、HST を用いて星形成効率の導出を行った。その結果、棒部では腕部に比べて 1 桁近く星形成効率が小さいことがわかった。これにより、棒渦巻銀河の棒部では著しく星形成活動が抑制されていることが初めて定量的にわかった。

さらに我々は、棒部と腕部の個々の分子雲の性質を詳しく調べるため、ALMA を用いて CO(1-0) の観測を行った。本ポスター講演では、この観測結果も紹介する予定である。

1. Maeda et al. 2018, PASJ, doi:10.1093/pasj/psy028

42 クランピートラスからの X 線スペクトルの Circinus galaxy への適用

谷本 敦 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 D2)

活動銀河核 (AGN: Active Galactic Nucleus) は、中心の超巨大ブラックホール (SMBH: SuperMassive Black Hole) と降着円盤、その周囲のトラスから成る。このトラスは、SMBH への質量供給の役割を担い、SMBH と母銀河の共進化の鍵となる構造である。近年、様々な観測結果からトラスは一様ではなく、多数のガスの塊からなる非一様な分布 (クランピートラス) が示唆されている。実際、赤外線スペクトルに適用可能なモデルが作成された (Nenkova et al. 2008)。赤外線はダストのみの分布を反映する一方、X 線はダスト・ガスを含む全物質の分布を反映し、トラス全体の構造を知ることが可能である。しかしながら、X 線スペクトルに直接適用出来るモデルは、未だに発展途上である。

そこで私達は、クランピートラスからの X 線スペクトルモデル作成に取り組んだ。本研究では、先行研究 (Furui et al. 2016) を発展させ、より現実的な幾何構造を取り入れた。そして、多波長観測結果を考慮し、クランプの数密度をトラス赤道面を中心とした正規分布に配置するコードを作成した。作成したコードを MONACO (Monte Carlo Simulation for Astrophysics and Cosmology: Odaka et al. 2016) と組み合わせ、パラメータ毎にスペクトルを計算してテーブル化し、X 線スペクトルに適用可能なモデルの作成に成功した。本講演では、今回作成したモデルの詳細及び、Compton-thick AGN である Circinus galaxy の広帯域 X 線スペクトルへの適用結果を紹介し、赤外線観測で得られているトラスパラメータとの比較を行う。

1. Nenkova, M., et al. 2008, ApJ, 685, 147
2. Furui, S., Fukazawa, Y., Odaka, H., et al. 2016, ApJ, 818, 164
3. Odaka, H., Yoneda, H., Takahashi, T., & Fabian, A. 2016, MNRAS, 462, 2366

43 近傍銀河の大局的磁力線

藏原 昂平 (鹿児島大学 D1)

本研究の目的は、近傍銀河の磁力線が銀河面内で円環に沿って閉じるか否かを検証することである。

銀河面内のガスは円運動を行っている。電離したガスは磁場によるローレンツ力の影響を受け磁力線に沿って運動することから、ガスが円運動をしているならば銀河面内の磁場もガスの円運動に沿う円環状の構造を持つはずである。しかし、近傍銀河の大局的な磁場構造はスパイラル構造を持っている。磁場のスパイラル構造にそってガスが運動するとその運動は円運動ではなくなるため、実際の銀河面内のガスの運動とガスが磁力

線に沿って運動することに矛盾が生じる。

そこで、我々は安楽修論 (2015) の手法を用いて、近傍銀河 NGC6946 について磁場ベクトルを決定し、銀河面内で円環に沿って閉じるであろう磁場ベクトル構造を持つ結果を得た Dobbs et al.(2016) の結果と比較することで、実際の銀河 NGC6946 の磁力線が円環で閉じるかどうかを検証した。

その結果、銀河中心を中心とする円に対して、NGC6946 の磁場の角度の方位角方向変化は物質腕との関係がみられ、磁場の向きの方位角方向変化は物質腕との関係がみられなかった。一方、比較対象である、Dobbs et al.(2016) で説明される磁場ベクトルは、磁場の角度の方位角方向変化・磁場の向きの方位角方向変化ともに物質腕との関係がみられた。これらの結果から、NGC6946 は、Dobbs et al.(2016) で説明できるような銀河の磁力線が円環で閉じる磁力線構造は持っていないことがわかった。

1. Beck. 2015
2. 安楽修論 2015 鹿児島大学
3. Akahori et al (2018)

44 ファラデーモグラフィを用いた銀河磁場解析

鈴木 真輝 (熊本大学 自然科学教育部 M1)
磁場は宇宙の様々な天体に普遍的に存在し、それらのダイナミクスや高エネルギー現象の多様性を形作っている。このため、天体に関する磁場を解析することによりその天体の進化の過程やダイナミクスを知ることができる。磁場の3次元的な情報を得る手法としてファラデーモグラフィという手法がある。これは、観測された偏波強度スペクトルをフーリエ変換することによって、視線上の磁場と偏波分布を示すファラデースペクトル (Faraday Dispersion Function : FDF) を合成する手法である。この手法によりこれまで得ることができなかった奥行き方向の磁場構造を解析することが可能になる。

ファラデーモグラフィによる磁場解析には2つの問題がある。1つは観測された偏波強度スペクトルからどのように構築するか。もう1つは得られた FDF からどのように物理的情報を引き出すかである。FDF は、Rotation Measure(RM) と呼ばれる視線に平行な磁場と電子密度の積の視線積分値の関数であり、直接実空間における偏波強度分布を示すものではない。そのため、観測量から FDF を正確に構築できたとしても、我々が知りたい物理情報を引き出せるかは自明ではない。本研究ではこの2つ目の問題に焦点を当てている。

FDF の解釈を行う先行研究として、face-on の簡略的な銀河のモデルから解析的にファラデースペクトルを計算し、その形を特徴付ける統計量である幅、歪度、尖度から磁場の情報を引き出す研究や、視線を斜めにする事で磁場の視線方向成分と偏光角を変化させ、FDF の変化を見る研究がある。今回はこれらの先行研究を拡張し、現実的な渦巻銀河のモデルを用い

てあらゆる視線方向に関して FDF の解析を行い、どのような特徴が現れるか調べた。

1. Brentjens M. A. and de Bruyn, A. G. 2005, A&A, 441, 1217
2. Widrow M. 2002, RMP, 74, 775
3. Ideguchi, S., Yuichi, T., Takuya, A., Keitaro, and T., Dongsu, R. 2017, The Astrophysical Journal, 843, 146

45 矮小楕円体銀河の星形成史

三好 貴大 (東北大学 天文学専攻 M1)
銀河系の衛星銀河は、矮小楕円体銀河 (dSph) が多く、SDSS 以降では、さらに暗い ultra faint dwarf galaxy なども見つかってきている。これらは暗黒物質 (DM) が大きく支配している系であり、星形成史や化学進化を考える上では DM の影響を考慮する必要がある。Weisz D.R. et al.(2014) で求められた dSph の星形成史は、質量や明るさである程度の傾向が見られるが、例外的なものも存在した。この原因は観測の限界もあるが、外的な要因が考えられる。しかし、動力学的には、Hayashi, K., & Chiba, M. (2015) において、銀河系と M31 の衛星銀河のダークマターハローについて universal な関係があると分かってきた。

今回、私は、Starkenbug E. et al.(2013a) という論文のレビューを行う。本論文は、高解像度の Aquarius DM シミュレーションと、銀河形成に関わる semi-analytic に求めたバリオンのプロセスを組み合わせたものになっている。レビューを通して、特に銀河系の衛星銀河に影響を与える外的要因を振り返る。また、4月にリリースされた Gaia DR2 から期待される外的要因に関わる観測的制約も述べることにする。動力学的に universal な関係が成り立つダークマターハロー中で、外的要因も含めた矮小銀河のモデルを立てることで、星形成史や化学進化史の物理的理解につなげていきたいと思う。

1. Starkenburg E., et al., 2013a, MNRAS, 429, 725
2. Weisz D. R., et al., 2014, ApJ, 789, 147
3. Hayashi, K., & Chiba, M. 2015, ApJL, 803, 11

46 COSMOS 領域の中間赤方偏移に置ける強輝線天体サーベイ

平野 洸 (東北大学 天文学専攻 M2)
CDM 理論では、初めに矮小銀河が誕生しそれらが衝突・合体を繰り返すことで大質量銀河へ進化したと考えられている (銀河の階層的構造形成)。この理論は宇宙の大規模構造の形成 (大スケール) を説明することはできたが、個々の銀河進化 (小スケール) においては、観測された矮小銀河の数が予測された数より少ないミッシングサテライト問題などがあり、観測との矛盾が見られる。そのため銀河進化の包括的理解には銀河個々の進化過程の詳細な説明が求められている。今日における銀河進化の

観測的研究の主流は遠方宇宙 (赤方偏移 $z \sim 7$) に存在する銀河を観測することであるが、現代の技術では遠方宇宙においては、大質量銀河の観測に限られている。大質量銀河は宇宙に存在する銀河のごく一部であり、大多数が矮小銀河である。さらに矮小銀河は銀河の階層的構造形成におけるビルディングブロックであるため、銀河の進化過程を包括的に理解するためには矮小銀河について詳細な理解が必要である。そこで本研究では矮小星形成銀河の特徴の一つである強輝線に注目し、COSMOS 領域の中間赤方偏移に分布する矮小星形成銀河の選出を行った。本研究では COSMOS プロジェクトの一環として、すばる望遠鏡 Suprime-Cam の中帯域フィルターを用いて強輝線天体サーベイを行った。このサーベイの結果、3097 個の強輝線天体を選出することができた。これらの天体について多波長測光データを用いて Spectral Energy Distribution (SED) fitting 解析を行い、強輝線の同定と物理量の算出を行った。その結果、これらの天体の主な物理量は測光赤方偏移は 0.01-1.22、等価幅の中央値は 181Å、星質量の中央値は $1.5 \times 10^8 M_{\odot}$ 、星形成率の中央値は $0.8 M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ と算出された。またこれらのうち 81 天体については分光観測がされており、このスペクトルデータを用いて今回のサーベイで算出された測光赤方偏移、等価幅、星形成率について評価を行った。今回はこれらの評価に基づき、強輝線天体の物理量の算出精度並びに星形成メインシーケンスに関する結果並びに議論を行う。

1. Ilbert, O., Capak, P., Salvato, M., et al. 2009, Apj, 690, 1236
2. Lilly, S. J., Le Fevre, O., Renzini, A., et al. 2007, ApJS, 172, 70
3. Taniguchi, Y., Kajisawa, M., Kobayashi, M. A. R., et al. 2015, PASJ, 67, 104

47 すばる-HST-アルマで暴く銀河形成最盛期における爆発的星形成銀河

木村 大希 (東北大学 天文学専攻 M1)

赤方偏移 $z=2-3$ の時代は宇宙の星形成率密度が最大となる時期であり、星形成史を知るうえで非常に重要な時期となる。つまり銀河形成に関しても最盛期であり、重要な時期である。

そこで私は特に $z=2-3$ における銀河の進化について着目し、その進化が周囲の環境 (銀河の数密度) や銀河の質量からどのくらい影響を受ける可能性があるのかを研究している。

私の指導教員である児玉忠恭教授が進めていらっしゃる MAHALO (Mapping H α and Lines of Oxygen) -Subaru project では狭帯域フィルターを用いて星形成銀河が放射する H α や [OII], [OIII] などの輝線を trace し、近傍から遠方 ($z=0-3$) にある様々な環境下に属している星形成銀河を探し出すことが出来る。狭帯域フィルターを用いることで赤方偏移の不定性を限りなく小さくすることができ、且つ break を追いかけるよりもサンプリングの完全性という点において非常に優

位である。それゆえこれまでに銀河団や group、field 領域において幾つもの輝線天体が検出されている。

プロジェクトの現段階では低質量側の輝線天体も含めた survey (MAHALO DEEP field) が始まっている。MAHALO DEEP のこれまでの調査結果からその時代の平均よりも大きい星形成率をもつ銀河が低質量側に存在することが発見されており、低質量側で一般的に見られる傾向もしくは環境効果の可能性を示唆している。

私も MAHALO DEEP に参加して研究を行い、現在は GOODS-S の field 領域における輝線銀河について調べている。その調査結果を今回の発表内容に選んだ。用いた狭帯域フィルターは NB2315 (中心波長 = $2.317 \mu\text{m}$) で $z=2.53$ の H α および $z=3.63$ の [OIII] を対象とし、Subaru 望遠鏡の MOIRCS で観測を行った。その結果、高い星形成率を示す銀河のうちいくつかは合体などの相互作用を及ぼしていることが HST のデータから分かり、また、そのうちの少なくとも一つが ALMA の dust continuum の観測で検出されている天体であった。この結果から銀河の合体は星形成率の誘発の起因となることが分かった。

1. Hayashi, TK, et al. (2016)
2. Suzuki et al. (2015)

48 Changing Look Quasar 探査

名越 俊平 (京都大学 理学研究科 宇宙物理学教室 M1)

近年、クエーサーの構造を解明するために重要な天体が報告されている。その天体は Changing Look Quasar (CLQ) と呼ばれ、通常のクエーサーの変光は 0.5 等級程度であるが CLQ は数年で 2 等級程度の変光を示す。さらにこの変光に伴って、クエーサーの特徴である広輝線 (中心核付近で大きな速度成分を持った領域からの放射) の強度が大きく変化している。これらは活動銀河核の活動性の ON/OFF が切り替わっている現象だと考えられていて、この天体を観測することで、同一天体でありながら OFF 状態のスペクトルを見れば ON 状態で見えなかった母銀河の情報を得られる。また、変光中に分光モニター観測を行うことで中心の巨大ブラックホールの周辺構造に制限をつけられる。しかし現在までの CLQ の報告例は非常に少なく、本研究ではそのような CLQ の探査を目的としている。

CLQ を探査するために、Sloan Digital Sky Survey (SDSS) でクエーサーと同定された天体について、変光天体最大のカタログである Catalina Real-time Transient Survey から光度曲線を手入れし (約 30 万天体分)、解析した。現在変光中と思われる天体を見つけるために、光度曲線を一次関数でフィッティングした。そして傾きや標準偏差などの情報をもとに、現在も変光を続けている可能性があり観測可能な候補天体を最終的に 5 つに絞り込んだ。選定した天体に対して、変光の継続を確認するために口径 40cm の望遠鏡で測光観測を行った。しかし、観測

の結果これらのサンプルからは変光の継続が確認できず、CLQを検出することはできなかった。今後は、SDSS のカタログ約 10 万天体分 (data release 14) を新たに加えて再度選定、観測し、継続的な変光が確認できた場合には分光観測のターゲットとする。

49 すばる HSC で探る、銀河団の進化段階と内部の銀河の星形成活動

山本 直明 (東北大学 天文学専攻 M1)

銀河の色や明るさ、形態といった性質は銀河の周辺環境に大きく依存していることが知られている。この関係がいつどのように起こり、その後どのように発展していったのかを観測することは、銀河進化の研究において極めて重要なテーマである。星形成史を辿ると、特に赤方偏移が 1-2 の間の時代は、近傍銀河の示すハッブル系列や、銀河団をはじめとする周辺構造が大きく変化した時代であるため、その時代の銀河の性質とその環境依存性を調べることは重要である。しかし赤方偏移が 1 以上の遠方銀河団サンプルは希少であり、銀河も暗く詳しく調べることも難しいので、これらの遠方銀河団の性質を統計的に調べた研究は少ない。そこで広視野かつ深い観測データがある HSC-SSP に着目し、0.5-1.7 の時代の銀河団サンプルを大量に構築するプロジェクトを行った。ここでは二つのサーベイを行っている。一つ目は Blue cloud サーベイである。星形成銀河の出す輝線を狭帯域フィルターを用いて星形成銀河を探索するサーベイである。二つ目は Red sequence サーベイである。広帯域フィルターを用いて得られた天体を色選択し、星形成を終えた銀河を中心に探索するサーベイである。これら二つの探索法を、HSC-SSP のデータを利用して行うため HSC-HSC (Hybrid Search for Cluster with HSC) と呼ぶ。これまで S15B のデータを使って Blue Cloud survey では 86 個、Red sequence survey では 199 個の銀河団候補を発見した。特に前者で発見した銀河団候補の中には、輝線銀河が非常に支配的に群れているものが見つかった。本研究では輝線銀河が支配的な銀河団や、輝線銀河と赤い銀河どちらも多く存在している銀河団などの性質を調べ、銀河団や銀河の星形成がどのように変化していったのかについて調べた。

1. Kodama and Arimoto (1998)
2. Hayashi et al. 2017
3. Chiang et al. 2013

50 Blue horizontal-branch stars を用いた銀河系恒星ハロー構造の解明

福島 徹也 (東北大学 天文学専攻 M2)

銀河系ハローには古い星が多く、銀河系形成時の動力学情報を保存していることから、これらの星の空間分布・力学情報を得ることは銀河形成の研究において非常に重要である。本研究では、すばる望遠鏡の超広視野カメラ Hyper Suprime-Cam

(HSC) を用いた戦略性プログラムのデータの中から、青色水平分枝星 (BHB) をその測光的特長から取り出し、銀河系中心から約 300 キロパーセクのハローの端に及ぶ銀河系ハローの構造を明らかにするのが目標である。BHB 星は絶対等級が明るいことと距離の評価が容易であることから、ハローの構造を決定する上で大変優れたトレーサーである。BHB の抽出には、たとえば SDSS で行われたように、 $u-g$ vs $g-r$ の 2 色図を用いバルマー線の違いを反映した方法を取ることが多いが、今回用いた HSC のデータには u -band がないので、 z -band におけるパッシェン系列の違いにより BHB を選択する。その際、HSC と SDSS のデータをクロスマッチして一致した天体を基準として、HSC のフィルターシステムを用いた新たな BHB の選択条件を決めた。新たな選択条件を Sextans dSph に含まれる BHB を用いて評価したところ、completeness : 67%, purity : 62% という結果を得た。

本研究では、ハローの構造を動径方向にべき乗 (べき α) の形を持つ密度分布で、軸対称で一定の軸比 (q) をもつ関数形を採用した。今回選ばれた BHB に対して選択の精度を考慮した最尤法を用い、パラメータ α と q を推定した。その結果、ハローの全体構造は一般にプロレート状であることが分かった。また、動径方向のべきがある半径 (r_b) で変化するモデルを採用したところ $r_b = 200$ kpc でべきが変化すると推定された。発表ではこの結果を踏まえ、銀河系の質量や降着史に関して詳しく議論する。

1. Fukushima T., Chiba M., Homma D., Okamoto S., Komiyama (arXiv:1711.10701)

51 Gaia DR2 でみる作用空間の銀河円盤

山田 優太郎 (新潟大学 宇宙物理学研究室 M1)

ESA (欧州宇宙機関) の位置天文衛星 "Gaia" の Data Release2(DR2) の公開により、13 億個程度の光源の 5D パラメーター (赤経、赤緯、固有運動、年周視差) が得られている。これまで使用されてきた Hipparcos の観測によるカタログは ~ 100 pc 程度までしか見えなかったが、この Gaia は ~ 10 kpc までの観測が可能になる。また DR1 と比べても非常にたくさんの星に対して 5D パラメーターを得ることができるようになった。視線速度についても Gaia 単機での測定が継続中であり、今後のデータリリースでは 6D パラメーターの公開が期待されている。

現在この DR2 をもとに様々な研究が行われているが、ここでは太陽から ~ 1.5 kpc 以内の 350 万個程の星についてのデータを用いて、星の銀河系内軌道運動の分布について調査した論文のレビューをする。DR2 から得られた星の詳細軌道運動のデータにより従来の限界であった太陽系近傍を超えて天の川銀河の小規模構造の解析が可能になった。星の軌道運動は $(J_R, J_\phi = L_Z, J_Z)$ を用いて正準座標系マッピングすることで同じ軌道上の星を識別を容易にしている。これまでに銀河のサ

が構造が軌道運動の密度 $n(J_R, L_Z)$ に関係していることが知られており、DR2 のデータでより精度よく対応関係を示すことができる。既知の、そして新しい銀河のサブ構造を示し、異なる軌道上の星の占有率の違いと基礎構造における非軸対称性の程度を計ることは、どちらも天の川銀河円盤のモデル化にとって重要である。

1. Wilma H. Trick, Johanna Coronado, and Hans-Walter Rix (2018) arXiv:1805.03653

52 水素分子冷却による宇宙初期天体の形成過程

官野 優翔 (新潟大学 宇宙物理学研究室 M1)
赤方偏移 z が 10^3 程度の時代は、宇宙膨張による温度低下から電子が陽子に捕獲され水素原子になり、宇宙の中性化が起こる。 z が 8 から 10^3 程度の時代は、宇宙は中性で明るい天体が観測されていないことから宇宙暗黒時代と呼ばれており、この時代に宇宙最初の天体が形成されたのではないかと考えられている。この天体は今宇宙にある銀河以前に形成され、銀河の元と考えられる前銀河天体 (原始銀河雲) であり、重元素を含まない原始ガスから形成されたと考えられている。

銀河形成を考える上では、原始ガスの冷却過程を調べる必要がある。重元素による放射冷却は考えられず、水素原子の冷却は 10^4K を下回ると効かなくなってしまう。よって、温度が 10^4K 以下では水素分子の振動・回転準位の励起による放射冷却が重要になる。しかし、原始ガス中には水素分子がほとんど存在しない。そのため、水素分子の生成・解離過程を詳細に考慮し形成量を評価する必要がある。

本発表では [1] の論文のレビューを行う。

宇宙の中性化時に再結合できず、取り残された電子や水素イオンを触媒とした非化学平衡での水素分子形成を考える。原始銀河雲の収縮時には水素分子形成と電子の再結合が同時に進む。このことを考慮して水素分子の形成・解離、電子の再結合、冷却のタイムスケールの比較から水素分子の形成量の推定を行う。冷却のタイムスケールを自由落下時間や宇宙膨張のタイムスケールと比較することで、冷却が効き天体形成が期待されるパラメータ領域を示し、原始雲が進化し実際に形成される天体の質量を推定する。

1. Nishi, Ryoichi; Susa, Hajime. 1999, ApJL, 523 103

53 JWST 打ち上げに向けた高赤方偏移銀河形成シミュレーションの解析

垂水 勇太 (東京大学 宇宙理論研究室 M1)
2020 年に JWST の打ち上げが予定され、高赤方偏移 ($z > 10$) の銀河が観測にかかることが期待される。そのため理論面の整備が重要であるが、観測の難しさからそれは進んでいない。本研究では、流体力学をメッシュ法、ダークマターによる重力を粒子法で扱った enzo コード [1] による高赤方偏移シミュレーションを用いる。

このデータの解析として、星形成の低温 ($T < 100\text{K}$)、高密度 ($\rho > 10^{-20}\text{g/cc}$ つまりおよそ $n > 10^4$ 個/cc) ガスの金属量の分布を求めた。するとガスは $z > 10$ において $Z > -2$ 、平均的には $Z \simeq -0.5$ あたりに分布し、比較的高金属量であることがわかった。さらに発展として、このシミュレーションと他のシミュレーションの間で、物理量や Stellar Mass - Halo Mass (SMHM) など結果の比較を行った。比較対象には、ダークマターによる構造形成を追った N 体シミュレーション結果上で、ハローの質量に比例する量の星を置くシミュレーション、および 2014 年に enzo を用いて行われた Renaissance シミュレーション [2] を選んだ。比較の結果、シミュレーションごとに popII の SMHM のべきはおおよそ一致し、量に 1 桁程度の差があること、および popIII の SMHM の関数形や合計の質量は大きく異なることがわかった。本講演では、関数形に物理的説明を与えること、および差を生じる物理の解明を目的として、低赤方偏移での星形成史についての論文 [3] を参照しながら議論する。また popIII の SMHM の相違を物理的に説明することで、宇宙論的シミュレーションにどうフィードバックできるかを議論する。

1. arXiv:1307.2265
2. arXiv:1503.01110
3. arXiv:1207.6105

54 COSMOS 領域における原始銀河団コアの探索

安藤 誠 (東京大学天文学教室 M1)
銀河はその進化において、周辺にどのような天体が存在していたかに大きく影響を受ける。このような「環境」を調べることは、銀河がどのように形成されてきたかを知る上で重要であり、その最たるものが銀河団である。銀河団はダークマターハローを土台として銀河が高密度で存在する領域であり、近傍のものについてはその性質が良く調べられている。近年では、銀河団の初期の姿である原始銀河団の探索が精力的に行われており、赤方偏移 2-6 程度にわたって原始銀河団候補領域が見出されている。これらの研究の多くは、特定の赤方偏移において銀河の密度超過が大きな領域を探ることが主であるが、これでは将来銀河団の中心となるような「コア」の領域をピンポイントで見つけることは難しい。一方で、原始銀河団のコアは銀河に対する環境効果が強く働くであろう領域であり、その観測は銀河形成の理解への手がかりとなることが期待される。また、特定された原始銀河団コアを多波長で調べることができればより有用である。

宇宙論の立場によると、原始銀河団は「高赤方偏移に存在し、かつ赤方偏移が 0 まで進化した時に質量が $1 \times 10^{14} M_\odot$ 程度に成長すると予想されるダークマターハロー」と定義でき、その質量や大きさの赤方偏移進化も宇宙論に基づいて計算することができる。

本研究ではこのような指導原理としての宇宙論に立脚し、

COSMOS 領域の銀河カタログを用いて銀河の分布を調べることで、赤方偏移 1.5 – 3.0 の時代における原始銀河団のコアとみなせるような領域の探索を行った。本講演では、その探索手法の妥当性と、COSMOS 領域における多波長観測データの概要について触れ、今後の研究の展望についてまとめる。

55 元素組成比からみる r-process 起源天体と銀河化学進化

山崎 雄太 (国立天文台 M1)

ビッグバン直後の宇宙は水素、ヘリウムと少量の軽元素のみから構成されていた。その後、初代天体の誕生とともに初期銀河が形成され、現在に至るまで様々な重元素が生成されて、宇宙は化学的に進化してきた。その中でも Fe より重い元素は s 過程や r 過程と呼ばれる中性子捕獲過程によってつくられると考えられている。この s/r 過程はそれぞれ特徴的な核種を生成するため、重元素合成における各過程の寄与は十分に分離可能である。s 過程に関しては既に起源天体や元素合成過程に関して多くが明らかにされてきた一方、r 過程の詳細は未だ明らかにされていない。元素合成過程に関しては、様々なモデルが提唱され一定の成果をあげてきた [1] もの、起源天体は今尚不確定である。r 過程が進行するには非常に多くの中性子が供給される必要がある。起源天体候補として中性子星を残すような超新星爆発との関連が長年議論されてきた他、中性子星連星系合体 (NSM) に関しても徐々に理解が進んできた。NSM における r 過程はこれまでその観測的根拠に乏しかったが、昨年 GW170817/SSS17a から重力波が検出されるとともにショートガンマ線バーストの中心天体が NSM であるとする仮説が支持されたことにより理論予測を観測的に検証する道筋に展望が開けた [2]。

NSM、磁気流体回転駆動型およびニュートリノ加熱型の超新星爆発 (重力崩壊型超新星) の 3 サイトにおける各 r 過程のモデルによって計算された元素生成比と、観測から推定されるイベント頻度の宇宙時間変化を合わせることにより、r 過程元素量の時間進化モデルを構築することができる [3]。このモデルから予想される理論的な時間進化と、各恒星外層に保存されたその恒星誕生時の元素組成比の観測から導かれる時間変化とを比較することで、r 過程元素量から起源天体、および銀河化学進化の詳細を明らかにすることができるかと期待される。

1. Shibagaki, S., Kajino, T., Mathews, G. J., et al. (2015), arXiv:1505.02257
2. Abbott BP et al (2017), *Astrophys J Lett* 848:L13.
3. F. X. Timmes, S. E. Woosley, and T. A. Weaver (1995), *Astrophys. J. Suppl.* 98, 617

56 すざく衛星による銀河団外縁部の高温ガスのエントロピーの評価

杉山 剣人 (東京理科大学 理学研究科 物理学専攻 松下研究室 M1)

銀河団は宇宙で最大の天体であり、宇宙年齢に匹敵する時間をかけて成長してきた。つまり、銀河団の成長の歴史を調べることは宇宙の構造形成史を知ることにつながる。ここで鍵となるパラメータは、高温ガスの加熱によって上昇するエントロピーであり、 $mbox$ 温度 $times mbox$ 電子数密度^{-2/3} によって定義される。エントロピーは外縁部ほど大きくなることが予想されているが、すざく衛星によって観測されたエントロピーはビリアル半径に近づくにつれて、予想される値よりも小さくなった (e.g. Kawaharada et al. 2010)。

銀河団外縁部に存在する高温ガスからの放射は非常に弱く、各物理量を見積もることが難しい。すざく衛星ではバックグラウンドが低いという特徴から外縁部からの放射を観測することが可能となった。観測により検出されたイベントを高温ガスからの放射とそれ以外のものとに正確に切り分けることは難しく、解析の際には系統誤差を精度良く評価することが重要である。また、太陽の活動状況によっては、太陽風と地球大気との電荷交換反応の放射の影響を評価する必要がある。さらに、すざく衛星の X 線望遠鏡の特性として、対象としている領域からの放射だけではなく、点源や銀河団の内側領域などの明るい領域からの放射が漏れ込んでしまうという問題点が存在する。そのため銀河団外縁部からの弱い放射を見積もる際には、この漏れ込みも評価する必要がある。

本研究ではすざく衛星が観測した Abell 1835、Abell 262 銀河団の観測データを用いて高温ガスの各物理量を推定した。その際に Abell 1835 では点源や内側領域からの漏れ込みを、Abell 262 では電荷交換反応の影響による高温ガスの各物理量への影響を調べた。その結果、点源からの漏れ込みによって温度が過大評価されることが、電荷交換反応による放射が存在することで電子数密度が過大評価されてしまうことがそれぞれ確認された。この結果よりエントロピーの推定への影響を議論する。

1. Kawaharada, M., Okabe, N., Umetsu, K., et al. 2010, *apj*, 714, 423.

57 近傍 Seyfert 銀河における AGN トリガーの形態的証拠の探究

高橋 美月 (東北大学 天文学専攻 M2)

活動銀河核 (active galactic nuclei; AGN) は、銀河の中心に存在する超大質量ブラックホール (super massive black hole; SMBH) への質量降着によって強大なエネルギーを放っている銀河中心領域である。多くの銀河の中心に SMBH が存在しているが、AGN を持っているのはそれらの一部である。このこ

とから、AGN 活動を引き起こすためのトリガーとなるメカニズムの存在が示唆されている。

中心の SMBH まで物質を降着させるには、角運動量を効率よく失う必要がある。それを実現しうるトリガーマカニズムの一つが、銀河同士の merger である。実際に、クエーサーでは merger の形態的証拠が多く見つかっており、それが AGN 活動をトリガーすると考えられている。一方、近傍の Seyfert 銀河の多くは対称な形を保っており、merger の形態的証拠はほとんど見つかっていない。

Tanaka, Yagi & Taniguchi(2017) は、Hyper Suprime-Cam と Suprime-Cam の深い撮像データから、NGC 1068(M 77) が過去に minor merger を経験したことを示唆する faint な構造を発見した。NGC 1068 は近傍にある典型的な Seyfert 銀河で、それまでは形態的な攪乱のない対称な銀河として知られていた。このことから、近傍 Seyfert 銀河をあらためて深く観測することは、AGN のトリガーマカニズムの解明にとって意義のあることだと考えられる。

本研究では、HSC-SSP の撮像データを用いて、複数の近傍 Seyfert 銀河の merger の形態的証拠を調べることを目的とする。サンプルは、Veron & Veron(2010) の AGN カタログから $Z < 0.2$ 、 $M < -19$ である Seyfert 銀河で、かつ HSC-SSP の領域内にあるものを用いた。また、比較サンプルとして、同等の赤方偏移、絶対等級などを持つ inactive な銀河の HSC-SSP データを用いた。本講演では、Seyfert 銀河と inactive な銀河の形態を統計的に比較し、merger や非対称性などが Seyfert 銀河に特有なものかどうか議論する。

1. Ichi Tanaka, Masafumi Yagi and Yoshiaki Taniguchi, PASJ, 69, 90 (2017)

58 ALMA による $z = 6.110$ のライマンブレイク銀河における遠赤外線 [O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線の検出

須永 夏帆 (名古屋大学 天体物理学研究室 (A 研) M1)

宇宙再電離期 ($z > 6$) に位置するきわめて若い星形成銀河の星形成活動や星間物質の物理状態を観測的に明らかにすることは、再電離に寄与した銀河の性質を理解し、現在の宇宙に至るまでの化学進化を理解するうえで重要である。そのために再電離期における重元素量の指標の一つとして、遠赤外線微細構造線のひとつである [O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線を用いた遠方銀河の探査が行われており、宇宙再電離期の銀河がもつ星間物質や星形成活動に制限が与えられるようになった (e.g., Hashimoto et al. 2018)。

本研究では、 $z = 6.110$ に発見されたライマンブレイク銀河 RXC J2248.7-4431 ID3 について、ALMA Band 8 を用いた [O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線の検出を報告する。この天体は、銀河団 RXC J2248.7-4431 ($z \sim 0.348$) のレンズ効果を受けており、それによる増光率は $\mu = 5.6$ である。さらに、年齢は

1.5 Myr と若く、星形成率 $\text{SFR}_{\text{UV}} \sim 3M_{\odot}/\text{yr}Z/Z_{\odot} = 0.005$ という結果が報告されている (Monna et al. 2013)。本研究で得られた結果は、[O III] $88 \mu\text{m}$ 輝線の積分強度が 0.496 mJy km/s であった。重力レンズの増光を補正した [O III] の光度は $L_{[\text{OIII}]} = (1.7 \pm 0.26) \times 10^8 L_{\odot} = (0.64 \pm 0.11) \times 10^{35} \text{ W}$ であった。また、近傍銀河に見られる単位 SFR あたりの [O III] 光度と金属量の相関関係から推定される金属量は、 $Z \sim 0.1 - 0.3 Z_{\odot}$ と推測された。本講演では、静止系紫外線から遠赤外線 SED フィットにもとづく、本銀河の物理的性質を議論する。

59 質量モデリングによるダークマターの探査

津久井 崇史 (国立天文台 M1)

この 10 年ほどで宇宙の質量の 95% をダークマター (DM) とダークエネルギーが占めていることが明らかになり、それらを取り込んだ Λ CDM モデルが確立した。 Λ CDM モデルではすべての銀河は DM ハローと呼ばれるダークマターの塊の中で形成される。その後も、DM ハローの合体成長に伴って、銀河は衝突し爆発的な星形成をする。あるいは、DM ハローの重力的影響を受けながら静的に進化をする。このように銀河形成の理論では、DM ハローの成長、性質は銀河の成長、性質に深く結び付いている。DM の性質、分布は銀河形成を理解する鍵であり、銀河形成史を理解することは、DM の分布が宇宙の年齢を通じてどのように変化し、銀河形成を支配してきたかを調べることに他ならない。 Λ CDM モデルは大規模な構造形成の説明は成功を収めている一方で、DM の自体の性質や正体が明らかになっていないばかりか、銀河のスケールではいくつかの未解決問題を残している。たとえば、 Λ CDM モデルで予想される銀河内部の DM の密度分布は中心部 ($< 1 \text{ kpc}$) の密度が急激に大きくなるが、実際の観測では中心部に行くにつれて一定になるような、のっぺりした構造をもっている。このような未解決問題を通じて、小さなスケールで DM の分布と銀河形成への影響を調べることは将来の大規模サーベイの結果の解釈、DM 粒子の制限に重要である。銀河中心のスケールでは星質量の不定性などから DM を切り分けるのが困難であったが、近年、DM が銀河の回転によく効く銀河全体のスケールから星などのバリオンがよく効く中心部の小さなスケールまで、DM、星、ガスの質量分布をによる速度場をトレースできるデータが出揃ってきた。本発表では、ALMA や VLA の観測データを用いて、銀河スケールでの DM の分布を求めるための質量モデリングの手法と得られた結果の一部を紹介する。

1. Risa H. Wechsler and Jeremy L. Tinker Annu. Rev. (2018)
2. W. J. G. de Blok et al. 2008