# ALMA を用いた衝突銀河 NGC1614 の CO 分子ガス観測

安藤 未彩希 (総合研究大学院大学 物理科学研究科 天文科学専攻)

#### Abstract

銀河の進化過程において銀河は衝突を繰り返しながら成長してきたと考えられており、衝突銀河の研究は銀 河の形成を考える上で重要である。衝突の影響によってガスが圧縮されて星形成が活発になるということが シミュレーションから示されており、その様子が多くの観測からも明らかにされている。

本研究で扱う NGC1614 は、衝突の後期段階にあるスターバースト銀河であり、星形成領域(SFR 50 $M_{\odot}$ /yr) は核を中心としてリング状に分布していることが明らかになっている。我々は ALMA によって得られた高分 解能、高感度の CO(2-1) 分子ガスデータを用いて積分強度、速度場、速度分散のモザイキングマップを作成 した。今後は、同観測で得られた CO(1-0)、<sup>13</sup>CO(2-1)、<sup>13</sup>CO(1-0) に対しても同様のマップを作成し、そ れぞれを比較し解析することで星間物質の詳細な物理状態の検証を行っていく。また、既存の他の分子ガス データや他波長データと比較することで、より詳しい物理状態の考察も行っていく予定である。

#### 1 Introduction

銀河の進化過程の1つとして、銀河同士が衝突と合体を繰り返すことで成長してきたという説が考えられている。銀河衝突が最も盛んなのは赤方偏移 z>1 であることが観測からわかっているが (Kartaltepe et al. 2010)、その詳しい物理状態を調べるためにまずは近傍の衝突銀河を調べることが重要である。

近傍の超光度赤外線銀河 (LIRG) の分子ガス観測 から、衝突銀河の中心核付近にガスが集まるというこ とが知られている (e.g., Wilson et al. 2008)。ガスに 富む銀河の潮汐相互作用により中心数キロパーセク にガスが落ち込み圧縮されることによって、爆発的星 形成 (SB) が引き起こされる (e.g., Mihos&Hernquist 1996)。

NGC1614 は比較的近傍にあり (D=66.7Mpc)、  $L_{FIR} = 2.7 \times 10^{11} L_{\odot}$ の LIRG である (Sanders et al. 2003)。長い tidal tail が見られるが中心核は 1 つし かないため、merger の最終段階であると考えられて いる。星形成率は SFR  $\simeq 50 \ M_{\odot} yr^{-1}$ 程で、SBの大 部分は中心付近の starburst ring(100-350 pc) で生じ ている (Xu et al. 2015)。The Great Observatories All-Sky LIRG Survey(GOALS) の sample の中の少 なくとも 5 つの LIRG がこのような SB ring を持つ ことがわかっている。このような SB ring が形成され る過程として、星形成が中心から外側に向かって進行 しているという説が提唱されている (Alonso-Herrero et al. 2001)。

本研究は CO ガス分子の観測データを用いて、衝 突銀河の SB 領域に付随するガスの物理状態を考察 することを目的としている。

# 2 Observations and Data Reduction

本研究で用いたデータは、アタカマ大型ミリ波サ ブミリ波干渉計 (ALMA)の Cycle 2の観測によって 2014 年 12 月に得られたものである (PI. T. Saito)。 受信機は Band6(211-275 GHz)を使用していて、synthesised beam size は約 1.1"となっている。使用した アンテナ台数は 35 台である。本観測の field of view は図 1 のようになっていて、26"程度の primary beam size で 3 視野のモザイキング観測を行っている。

以上の条件で得られたデータを、データ解析ツー ル CASA(Ver.4.4.2)を用いて解析した。基本的な解 析はデータ解析パイプライン用のスクリプトを用い て行い、必要な場合には自分で bad data を削除す ることで解析の質を上げた。CLEAN を行う際には robust parameter=0.5 とした Briggs wighting を使 い、速度分解能は 10km/s としてモザイクマッピン 2015年度第45回天文・天体物理若手夏の学校



図 1: 赤い円は今回の観測の field of view。背景画像 は HST により得られたもの。

グした。この結果得られた rms は 2.4mJy/beam と なった。

## 3 Results

今回の解析結果から、CO(2-1)の積分強度分布、速 度場、速度分散のマッピング画像 (それぞれ図 2、図 3、図 4)を得た。



図 2: CO(2-1) の積分強度図

ここでは、得られた観測視野の中から中心核付近の16"×24"の領域を示している。また、速度場、速



図 3: CO(2-1)の速度場



図 4: 速度分散図

度分散図は  $5\sigma$  で clipping している。

今回の観測から得られた積分強度図には ring 構造 の兆候が見えており、これは Xu et al. 2015 による ALMA を用いた CO(6-5) 観測結果と一致する。ま た、CO が HST 画像の dust lane に沿って分布して いる様子も見られる。速度場の図はガスが南北方向 に回転運動している様子を示しており、最大の回転 速度は約 150km/s(inclination の補正なし) である。 しかしながら、速度構造は部分的に歪んでおり、非 円運動成分が存在する可能性もある。速度分散は中 心部で大きくなっている。

# 4 Future Work

今回示しているのは CO(2-1) のデータのみだが、同 時に行われた観測で CO(1-0)、<sup>13</sup>CO(2-1)、<sup>13</sup>CO(1-0) の輝線データも得られている。上で紹介した CO(2 1) に対して行ったのと同様に CO(1-0)、<sup>13</sup>CO(2-1)、
 <sup>13</sup>CO(1-0) に対しても calibration と imaging を行い マッピングをすることで、以下のような議論を行う 予定である。

# 4.1 $[CO]/[^{13}CO]$ abundance L

光学的に厚いガスの tracer である CO(1-0) と光学 的に薄いガスの tracer である <sup>13</sup>CO を比較すること で、星形成領域からの影響について考察することが できる。

 $CO/^{13}CO$ 輝線比が通常の渦巻銀河と比べて、SB 銀河で高いということが経験的に知られている (Aalto et al. 1995)。CO と <sup>13</sup>CO の輝線比の値は、光学的 な深さ  $\tau_{CO}$ による CO と <sup>13</sup>CO の強度の違いと、CO と <sup>13</sup>CO の存在量の違い ([CO]/[<sup>13</sup>CO]) どちらから も影響を受ける。RADEX という non-LTE における 輻射輸送を解くコード (van der Tak et al. 2007)を 用いることで、前者と後者による影響を分離するこ とができる。中心核、SB ring、dust lane など場所 ごとに解析を行い [CO]/[<sup>13</sup>CO] 比を求めることで物 理状態の違いを考察する。

#### 4.2 ディスクモデルを用いた速度場解析

NGC1614の中心核付近に、分子ガス outflow が存 在する可能性があることが指摘されている (Garcia-Burillo et al. 2015)。

衝突銀河では starburst が見られる一方で、多くの 合体後の銀河では星形成が行われていないという観 測結果がある (Cappellari et al. 2011)。outflow は衝 突銀河で引き起こされた星形成活動を抑制するメカ ニズムの1つとして有力視されており (e.g., Hopkins et al. 2011)、詳細な outflow の様子を明らかにする ことは銀河進化の理解につながると考えられる。

kinemetry というソフトウェア(Krajnovic et al. 2006)を用いて解析することで、円運動するガス成 分と非円運動するガス成分を切り分けることができ、 NGC1614の outflow の存在を検証することが可能と なる。

### Acknowledgement

基礎物理学研究所(研究会番号:YITP-W-15-04) 及び国立天文台からのご支援に感謝いたします。

### Reference

Aalto, S. et al. 1995, A&A, 300, 369
Alonso-Herrero, A. et al. 2001, ApJ, 546, 952
Cappellari, M. et al. 2011, MNRAS, 413, 813
Garcia-Burillo, S. 2015, arXiv150504705G
Hopkins, P. F. et al. 2015, arXiv150405209H
Konig, S. et al. 2013, A&A, 553, A72
Krajnovic, D. et al. 2006, MNRAS, 366, 787
Mihos, J. C. &Hernquist, L. 1996, ApJ, 464, 641
Sanders, D. B. et al. 2003, AJ, 126,1607
Sliwa, K. et al. 2014, ApJ, 796, L15
Sturm, E. 2011, ApJ, 733L, 16
van der Tak, F. et al. 2007, astro.ph..2385
Wilson, C. D. et al. 2008, ApJS, 178,189
Xu, C. K. et al. 2015, ApJ, 799, 11