

ALMAで探る銀河の衝突と星形成・ 活動銀河核の関係

伊王野 大 介

〈国立天文台チリ観測所 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-2〉

e-mail: d.iono@nao.ac.jp

斉藤 俊 貴 ・ 植田 準 子

〈東京大学大学院理学系研究科 〒133-0033 東京都文京区本郷7-3-1〉

〈国立天文台チリ観測所 〒181-8588 東京都三鷹市大沢2-21-2〉

銀河と銀河が衝突すると、星形成が盛んになったり、巨大ブラックホールにガスが供給されることによって活動銀河核が生じたりする。このような活動を詳しく調べるためには、高密度ガスが放つ電波を観測するのが有効だ。本稿では、VV114と呼ばれる衝突中の銀河における高密度ガスの観測の結果を紹介する。まず、高密度ガスが1万光年以上の広い範囲にわたり、衝突している銀河を横切る形で遍在することがわかった。そのような場所では、星もたくさん誕生している。そして、今回の観測結果で特に興味深いのが、東側にある銀河の中心付近で見つかった高密度ガスのかたまりである。ここでは、たいへん小さい領域にたくさんのガスが集まり、密度が非常に高くなっていると考えられ、塵に埋もれた活動銀河核が存在することを支持する結果となった。銀河の衝突の影響で、巨大ブラックホール周辺にガスが寄り集まり、広い範囲にわたって星の材料となる高密度ガスが生成されていることが明らかになった。

1. 銀河の衝突とその影響

宇宙は、たくさんの銀河で混み合っている。そのため、銀河はその一生のうちに何度も衝突や合体を繰り返し、大小さまざまな銀河を取り込みながら成長していくと考えられている。英語では、Galactic Cannibalism（「銀河の共食い」）と呼ぶこともある。壮大な天文現象だ。実際に、私たちの住む天の川銀河も、他の銀河との衝突や合体を繰り返して成長してきたと考えられている。現在（近傍）の宇宙を観測すると、銀河が衝突している現場はあまり多くは見られないが、昔（遠方）の宇宙では、より頻繁に起きていたという観測結

果が知られている¹⁾。つまり、銀河の衝突合体現象は、銀河の形成と進化のプロセスに密接に関連しているのである。

銀河と銀河が衝突すると星がたくさん産まれる。衝突の影響によって、角運動量を失ったガスが大量に銀河核付近に落ち込み、圧縮され、星が誕生するというシナリオだ。誕生後間もない星々は、強い紫外線を放射する。この紫外線の影響によって宇宙空間に存在する塵が10-100ケルビンに暖められ、遠赤外線を放つようになる。このように遠赤外線でも明るく輝いている銀河を超高光度赤外線銀河（U/LIRGs）と呼ぶ。よって、近傍の宇宙において遠赤外線を強く放っている銀河は、

銀河衝突の影響によって星をたくさん形成している可能性があると考えて良い。ただし、なかには「活動銀河核」の影響によって遠赤外線でも明るく輝いている場合もあるので、すべてが星形成に起因するとは限らない。この場合は、銀河核中心付近に落ち込んだガスが、巨大ブラックホールの活動性を高め、周囲の塵を暖めるというシナリオが考えられる。実際、U/LIRGsの約半分が活動銀河核の影響を受けているという研究結果もある²⁾。

このように、銀河の衝突に伴ってさまざまな物理現象が起こるため、そのプロセスを詳しく調べることはたいへん重要である。しかし、観測装置の感度や解像度の限界のため、遠方宇宙の観測では、得られる情報が限られてしまうのが現状だ。そのため、近傍に存在する衝突銀河を精度よく観測することが、この分野における観測研究の第一歩となる。

本稿では、ALMAを使った最新の観測例を紹介したい。この観測では、銀河衝突の際に寄り集まってできる「密度の高いガス」に焦点を当てる。高密度ガスは、星の直接的な材料となりうるため、星をたくさん形成しているU/LIRGsには多く存在することが予想される。また、活動銀河核周辺のガスも同じように密度が高くなっているため、その様子を調べるのに適している。まずは、本研究で観測したVV114と呼ばれる衝突銀河についての先行研究を紹介していく。

2. 衝突銀河VV114とALMA観測

VV114 (図1) は、太陽と同じような質量の星を1年間に約50個生成している高光度赤外線銀河(LIRG)である。銀河全体を取り巻く希薄な分子ガス(CO(1-0)輝線)が豊富に存在することがわかっている^{3), 4)}。X-線や可視・赤外線の観測⁵⁾⁻⁷⁾もされており、これらの観測から、銀河の西側(図の右側)は広い領域にわたって星が形成されていることがわかっていた。また、東側(図の左側)では塵に埋もれた活動銀河核が存在

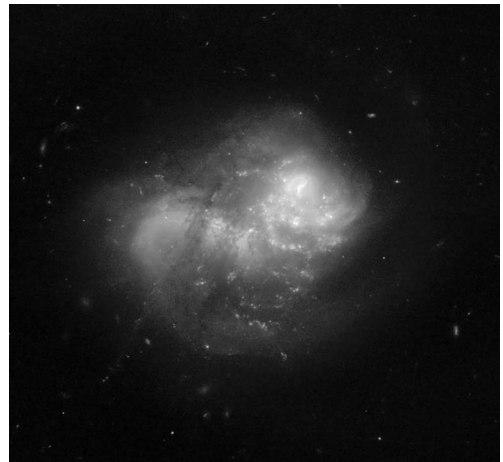


図1 ハッブル望遠鏡で観測されたVV114の画像。NASA, ESA, the Hubble Heritage (STScI/AURA)-ESA/Hubble Collaboration, and A. Evans (University of Virginia, Charlottesville/NRAO/Stony Brook University).

する可能性があることが知られている。

ALMAで観測した輝線は、HCN(4-3) (シアン化水素)とHCO⁺(4-3) (ホルミルイオン)と呼ばれる高密度ガスの指標となる分子から放たれるものである。どちらも臨界密度(=10⁶-10⁷ cm⁻³)が高く、活動性の高い領域を詳しく調べるのに適した分子だ。ミリ波帯で代表的な一酸化炭素分子の電波強度と比べると、これら分子は弱く検出が難しいため、ALMA望遠鏡のような高い感度をもつ望遠鏡を使った観測が鍵となる。また、解像度(=0.5秒角)が今までの観測よりも約1桁向上しているところも大きな利点だ。

3. 高密度ガスの分布と輝線強度比

今回の観測から、これらの分子が1万光年以上の広い範囲にわたり、衝突している銀河を横切る形で遍在することがわかった(図2)。その総質量は、太陽の約1千万倍になる。このような細長い高密度ガスの構造は、理論シミュレーションにおいてもその形成が予想されており、今回の観測からそれを支持する結果を得た⁸⁾。また、HCO⁺

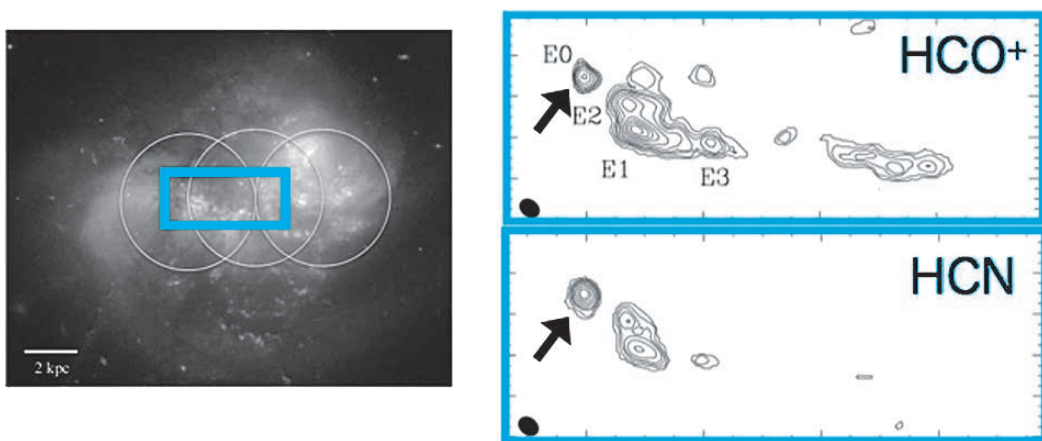


図2 (左図) ハッブル望遠鏡の画像にALMAの視野(図中三つの丸)を重ねたもの。(右図) 左図の青枠部分のALMAの画像。上図が HCO^+ の分布, 下図がHCNの分布を表している。矢印で示した部分には、埋もれたブラックホールが存在すると考えられる。

を放つガスが少なくとも10個のかたまりとして観測された。それぞれの質量は、太陽の100万倍にも及ぶ。このような場所では星が集団で生まれ、星団に進化していくことが理論シミュレーションから予想されている⁹⁾。

星形成の指標とされる電離水素の画像¹⁰⁾との比較から、高密度ガスが存在する場所では、星も形成されていることがわかった。つまり、高密度ガスと、それによって生成された星が混在することになる。また、理論(輻射輸送)モデル¹¹⁾を使うと、中心付近のガスの密度が 10^{5-6} cm^{-3} であるという計算結果を得た。これは、銀河円盤において通常観測される分子雲よりも2-4桁高い値だ。 HCO^+ やHCNで観測される分子ガスがいかにか高い密度の領域をトレースしているかがわかる。

今回の観測結果で特に興味深いのが、東側(図2: 右図矢印)にある銀河の中心付近で見つかった高密度ガスのかたまりである。ここでは、アルマの高い解像度を使っても点にしか見えないことから、たいへん小さい領域にたくさんのガスが集まり、密度が非常に高くなっていると考えられる。また、この場所では、HCNと HCO^+ の電

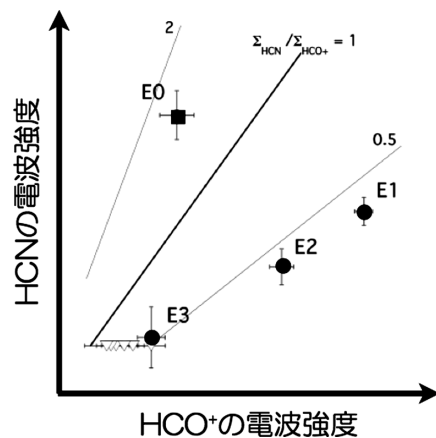


図3 HCNと HCO^+ の電波強度の比較。E0が図2の矢印部分に対応する。

波強度の比が他の場所とは明らかに違うことがわかった(図3)。過去の他の銀河の観測から、活動銀河核周辺ではHCNの電波強度が HCO^+ の電波強度に比べて強くなることが知られている¹²⁾。今回の観測結果はそれとよく一致するため、東側にある銀河の中心には塵に埋もれた活動銀河核が存在すると示唆される。今後は、活動銀河核周辺でHCNの電波が卓越する物理的な理由についての調査を進めていく予定である。本研究から、銀河の衝突の影響で、巨大ブラックホール周辺に高

密度ガスが集まり、ブラックホールの活動性が高くなっている可能性があることがわかった。その質量は、太陽の約1億個分に相当する巨大なものである。

4. 今後の展望

今回、密度の高いガスの分布やその強度の違いを調べることによって、衝突銀河における星の形成にかかわるガスの理解が進み、埋もれた活動銀河核の存在を示すことができた¹³⁾。このような現象は、理論シミュレーションからも予想されており¹⁴⁾、ALMAを使った観測によってそのシナリオを支持する結果が得られた。

また、今回の観測データは、アンテナの数がアルマ望遠鏡完成時の1/4の数しかなかった初期運用段階に得られたものである。アンテナ台数が増えると、さらに高い解像度を達成することができる。今後、高い解像度を活かして、ブラックホールの周りに存在すると考えられる円盤構造や吹き出るジェットの有無に迫っていく予定である。

参考文献

- 1) Kartaltepe, et al., 2010, ApJ 721, 98
- 2) Veilleux, et al., 1995, ApJS 98, 171
- 3) Yun, et al., 1994, ApJ 430, L109
- 4) Iono, et al., 2004, ApJ 616, L63
- 5) Grimes, et al., 2006, ApJ 648, 310
- 6) Le Floch, et al., 2002, A&A 391, 417
- 7) Alonso-Herrero, et al., 2002, AJ 124, 166
- 8) Saitoh, et al., 2009, PASJ 61, 481
- 9) Teyssier, et al., 2010, ApJ 720, L149
- 10) Tateuchi, et al., 2012, PKAS 27, 297
- 11) Van der Tak, et al., 2007, A&A 468, 627
- 12) Kohno, et al., 2001, ASPC 249, 672
- 13) Iono, et al., 2013, PASJ 65, L7
- 14) Hopkins, et al., 2006, ApJS 163, 1

AGN and Starburst Activities in the Colliding LIRG VV114

Daisuke IONO

National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan

Toshiki SAITO and Junko UEDA

National Astronomical Observatory of Japan,
2-21-1 Osawa, Mitaka, Tokyo 181-8588, Japan
Department of Astronomy, School of Science, The
University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku,
Tokyo 113-0033, Japan

Abstract: Colliding galaxies are seen at various epochs throughout the history of the universe. Here we show recent observational result obtained toward a colliding galaxy VV114 using ALMA. Our main focus of this study is to investigate the distribution and the kinematics of the dense gas tracers (*i.e.*, HCO⁺ and HCN). We found a compact nuclear and extended dense gas distribution across the eastern part of the galaxy pair. We also find signature of an Active Galactic Nucleus from these observations. These new ALMA observations demonstrate the importance of the dense gas tracers for identifying both the AGN and the star-formation activity in a galaxy merger.