

「衝突する宇宙」

※ 2025 年 10 月 13 日に開催されたオンライン講演会「衝突する宇宙」（講師: 福井康雄 名古屋大学大学院名誉教授）を元に再構成しました。

私たちはこの 20 年近く、ガス雲同士が衝突して星をつくる現象に注目してきた。最初にこの可能性に気がついたのは 2008 年頃である。天文学全体の研究動向を見ると、特にこの 10 年で、衝突現象がさまざまなスケールで頻繁に起きており、銀河の進化に深く影響を与えていることが明らかになってきた。ここではその全体像を紹介し、今後を展望しよう。

銀河団の衝突

銀河団は、宇宙でも大きなスケールの現象であり、数十から数百の銀河を含む銀河の集団である。注目されている銀河団のひとつが「弾丸銀河団」である。これは、約 40 億光年の距離にあり、銀河団の大きさは 100 万光年の規模である。銀河系のサイズは 10 万光年であるから、銀河団はその 10 倍と思えばよい。単一の銀河では周りのガスはかなり飛び散ってしまうが、銀河団になるとガスを重力で閉じ込めることができる。このガスは多くの場合、希薄ながら 100 万度の高温になり X 線を放つ。このような銀河団が、宇宙では時に衝突する。

図 1 は、弾丸銀河団の X 線イメージである。右手には富士山のような構造が見られる。これは今から約 2 億年前に、小型銀河団が図の左から大型銀河団に高速で衝突した直後を捉えたものである。衝突速度は約毎秒 4500km、ガス温度は 2 億度以上と星の表面温度をはるかに超える高温希薄ガスが銀河団を取り巻いている。富士山型は、小型銀河団の先頭付近の高温ガスを示し、衝突を証拠づける。

この衝突の通過距離は約 100 万光年で、銀河 10 個分のサイズに相当する。銀河団同士の衝突は非常に大規模で、銀河同士の衝突よりもはるかに速い数千 km/s のオーダーで起きる。銀河団には大量の暗黒物質が存在し、通常は銀河と暗黒物質は同じ重心を持つと考えられる。しかし、衝突が起きると暗黒物質がずれてあらわになる可能性が注目されており、議論が続いている。

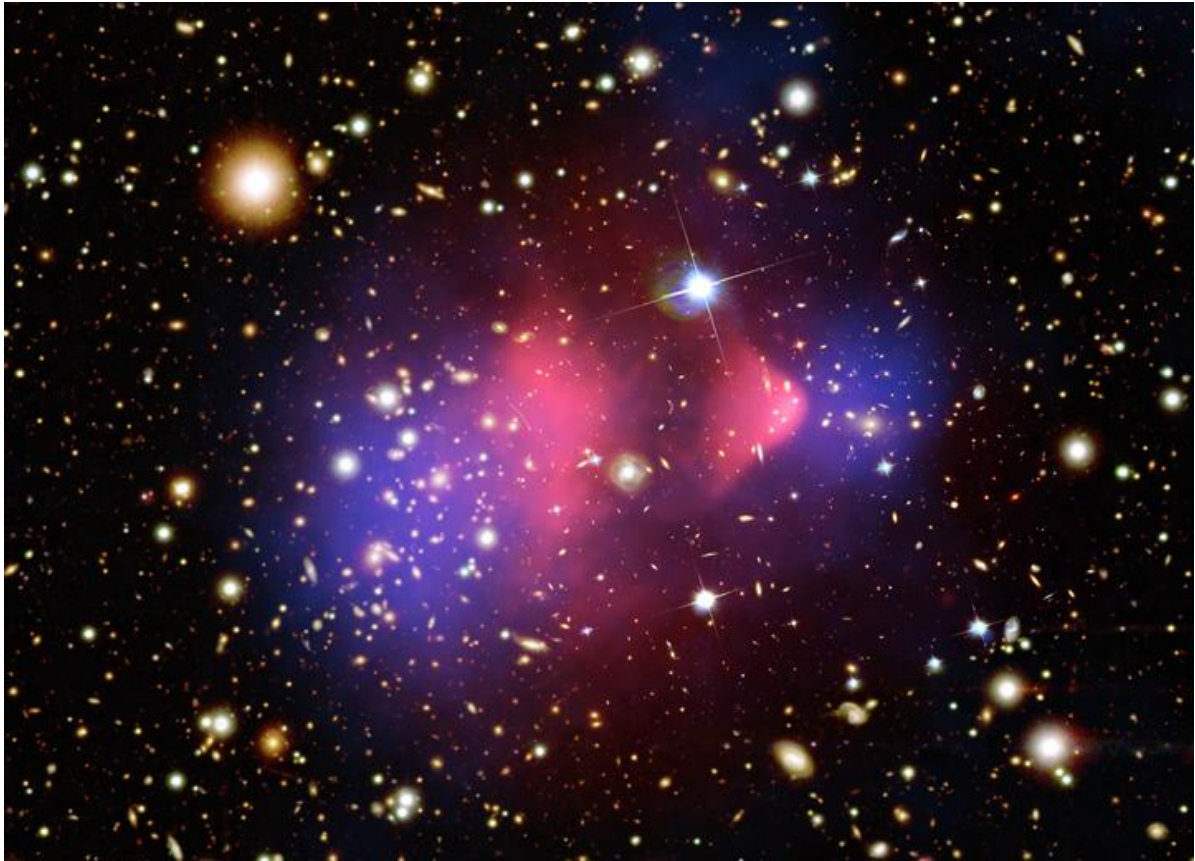


図1 「弾丸銀河団」の合成画像。2つのピンク色の塊はチャンドラ宇宙望遠鏡がX線で検出した高温ガス、青色領域は天文学者が銀河団内の質量の大部分を特定した場所を示している。背景の画像は、銀河をオレンジ色と白色で映し出している。Credit: X-ray: NASA/CXC/CfA/M.Markevitch et al.; Optical: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.; Lensing Map: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al.

「ステファンの五つ子」

「ステファンズ・クインテット(五つ子)」では、約3億光年の距離にある四つの銀河が集まり、さらに手前の銀河一個が偶然同じ方向に見えている。弾丸銀河団よりもはるかに近い距離にある。ここでは銀河同士の衝突によって星形成が活発に起きている領域「SQ-A」が注目されている。

図2は、波長21cmの水素原子の電波を観測された五つ子銀河である。水素原子の雲が速度差毎秒600kmで衝突していることがわかる(図2)。ALMAによってCO分子雲も観測されており、速度の異なる雲が衝突し、その境界面で星が誕生していることが示された。我々が予想していた通りの現象がこのように、五つ子銀河でも起きている。

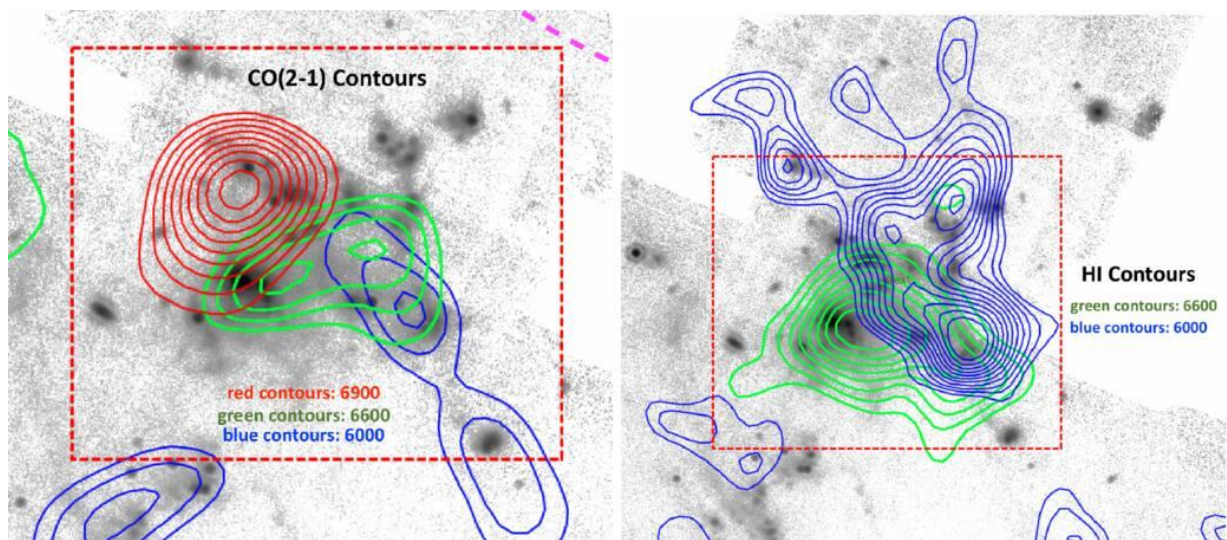


図2 左：SQ-A領域におけるALMA ACAによるCO(2-1)の等高線図をJWST 15 μ m画像に重ねたもの。青、緑、赤の等高線はそれぞれ6000、6600、6900成分に対応する。右：VLAによる水素原子マップの等高線図をJWST 15 μ m画像に重ねたもの。青と緑の等高線はそれぞれ6000成分と6600成分を示す。(Xu et al. 2025, ApJ 991, 197より)

アンテナ銀河



図3 アンテナ銀河

我々は、より近い「アンテナ銀河」にも注目してきた。図3に示したアンテナ銀河は約7000万光年の距離にあり、昆虫の触覚（英語で「アンテナ」）のように細長く伸びた構造が特徴である。最も近い距離で正面衝突している銀河として、衝突の役割を理解する上で貴重な研究対象である。

この距離になると、ALMAの性能が活きてくる。図4にALMAの観測結果を示した。アンテナ銀河の「B1」領域では、毎秒1500km(緑色)と毎秒1600km(桃色)の二つの視線速度を持つ分子雲が重なって見えており、そこで太陽の100万倍の質量を持つ星団が形成されている。これらの分子雲の衝突が星団形成を引き起こした可能性が高い。さらに詳しくALMAの結果を見ると、赤の分子雲の中心には「穴」が開いており、過去に緑の雲が100km/s以上の速度で衝突し、突き抜けたと考えられる。分子雲の示すこのような「補完的な」関係は、衝突が100万年前に起きたことを示唆する。この研究は、柘植紀節氏との共同研究であり、衝突によるガスの圧縮が星団形成を引き起こしたと考えられる。このような現象はアンテナ銀河内の各所で確認されている。

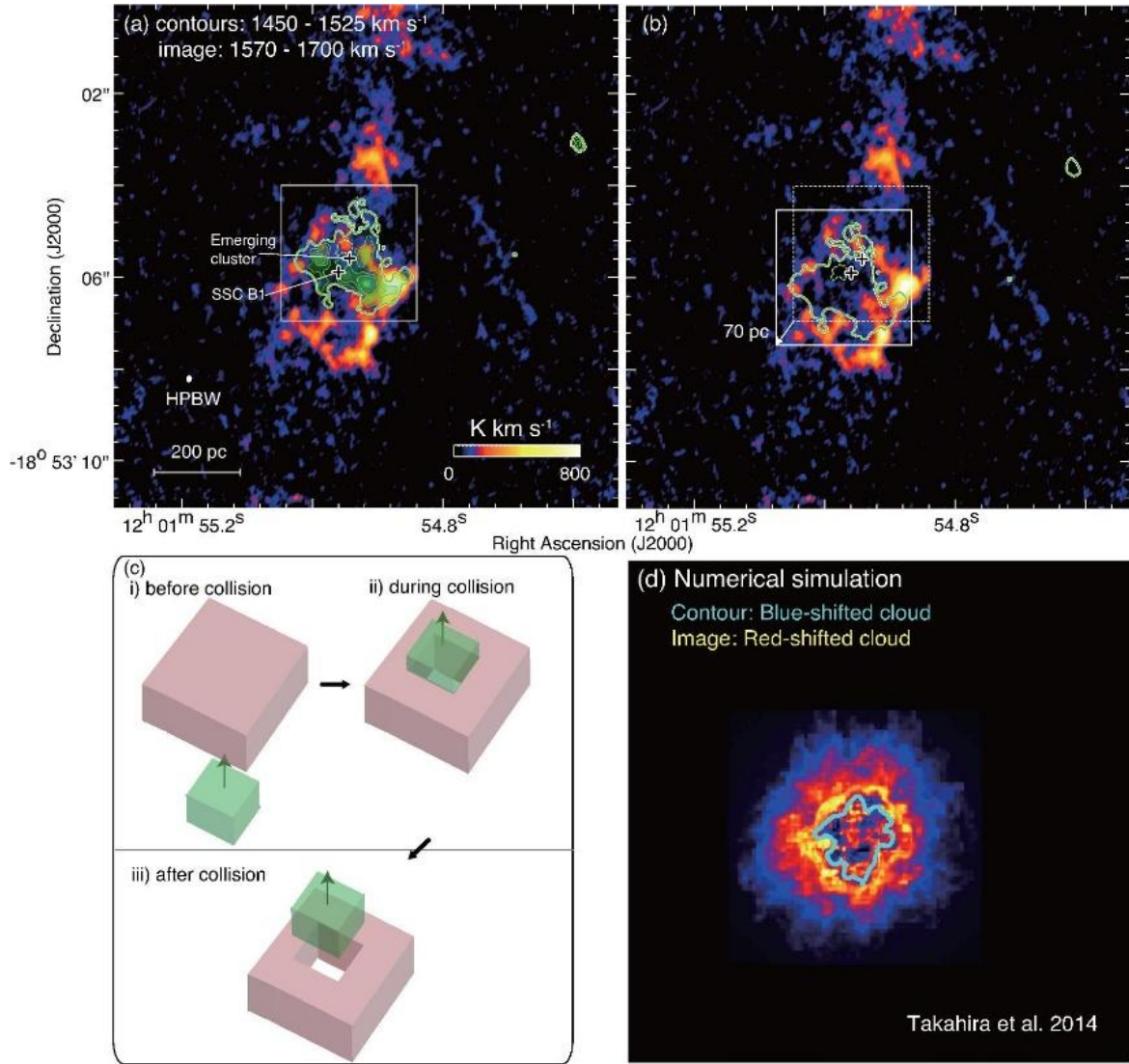


図 4 (a) 赤方偏移雲に重ね合わせた青方偏移雲の CO 強度分布図（等高線表示）。(b) (a)と同様だが、青方偏移雲の等高線が変位している。等高線レベルは 300 K km s⁻¹。投影変位量は 70 pc、方位角は 126°。(c) SGM4/5 における衝突前(i)、衝突中(ii)、衝突後(iii)の直方体モデル雲を示す。パネル(a)と(b)はそれぞれ(iii)と(ii)に対応する。(d) Takahira, Tasker, and Habe (2014)の数値シミュレーションに基づく合成観測結果。等高線と画像は、それぞれ青方偏移雲と赤方偏移雲を示している。(Tsuge et al. 2021, PASJ 73, 417–430 より)

R136 星団とマゼラン雲の衝突モデル

大マゼラン雲にある若い巨大星団 R136 は、年齢は約 1500 万年、局部銀河群の中で最大の星団とされる。しかも、太陽の 200—300 倍の質量を持つ星が五個含まれている。このような巨大星は、他に存在は知られていない。名大の故・藤本光昭氏の研究では、小マゼラン雲との潮汐相互作用によってガスが端に集中した結果とされる。

マゼラン雲に速度の異なるガス雲が 2 つ存在することは 1990 年頃から知られていたが、我々の 2017 年の研究によって、「ブルーシフトした雲がレッドシフトした円盤状のガスに衝突し、穴を開けて星団が形成された」というモデルが提案された。

これは銀河系では知られていない現象であった。R136 のようなスーパースタークラスターは、初期宇宙の星形成を理解する上でも重要な鍵を与える。

ファン（扇）構造モデル

甲南大学の井上氏による理論研究では、球状の雲が銀河の円盤に落下した際、磁場の影響で扇状の構造が形成され、フィラメント状の筋が多数現れる。図 5 に示したように、時間経過とともにガスが中心に集中し、密度の高い塊がコーンの頂点に形成される様子が再現されている。このモデルは ALMA の CO 観測の結果とも一致して、ファン状の形状、フィラメント状の磁場構造、速度パターンの 3 点において観測を説明できる。JWST の扇状の放射とも比較され、扇状構造がさらに広がっていることが明らかになった。

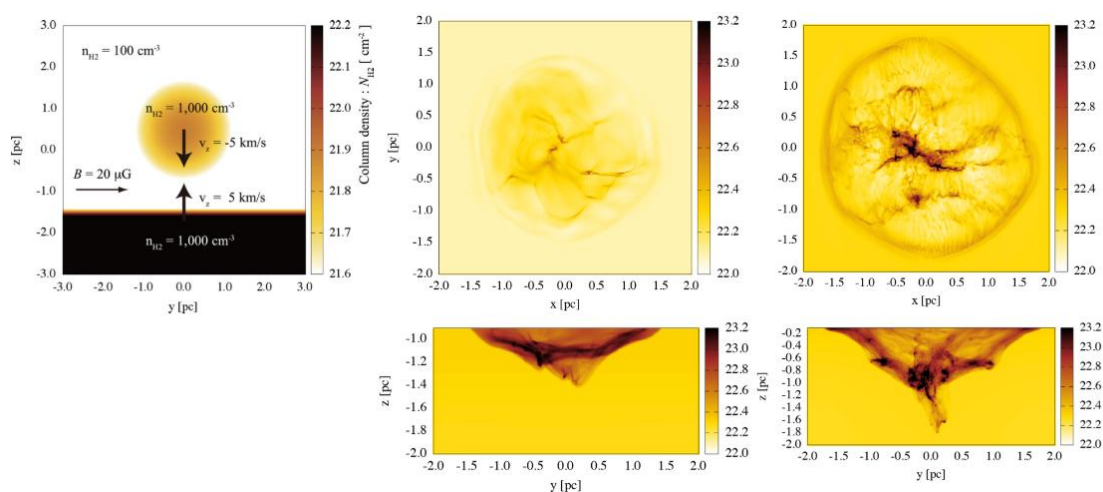


図 5 初期設定の模式図(左)。838 太陽質量の小さな雲が、はるかに大きい雲と衝突する。初期設定から 40 万年(中央)および 70 万年(右)の時点における柱密度構造のスナップショット。上段は「上から」見た分布、下段は「横から」見た分布を示す。右: 同、70 万年の([Inoue et al. 2018, PASJ 70, S53](#) より)

銀河系内の雲の落下と星形成

以上の研究は、系外銀河が対象であった。それでは、銀河系自体について、このような雲同士の衝突はあるのだろうか。早川・福井による論文は、銀河面から離れた場所に浮かぶガス雲が銀河面に向かって落下し、衝突・合体する可能性を予想した。この現象は、ロビン・シェルトン氏との共同研究でも確認されており、雲が銀河系の重力によって引かれ、銀河面に衝突・合体して銀河系の一部になることが予想される。雲の質量は太陽の約1万倍で、水素原子の希薄な雲が銀河面に衝突して合体する様子が観測されている。巨大分子雲の周囲には多数の雲が落下してきており、分子化が進行している。21cm線による観測では、雲の速度構造や空間分布が詳細に捉えられており、衝突による加熱や圧縮の痕跡が確認されている。

その一例が「ヘッド・テイル構造」として最近発見されたのである。図6は、頭部と尾部を持つオタマジャクシのような形状で、銀河面に向かって突入していく分子雲である。雲の頭部が高温になっており、衝突による加熱が起きていると考えられている。これらの雲は、銀河面に向かって落下しながら、銀河系の星形成の材料として蓄積されている。

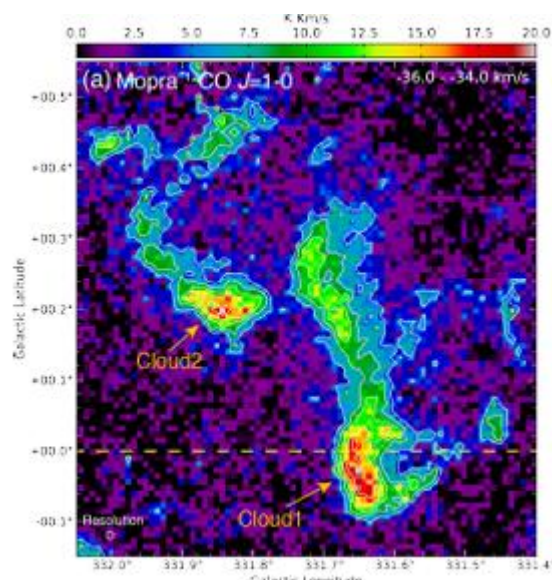


図6(a) ヘッド・テイル分子雲のCO積分強度マップ。(Kohno et al. PASJ in press より)

彼岸花星雲と R136 との類似性

NGC 6357（彼岸花星雲）では、R136 と類似した扇状構造とフィラメントが観測されており、銀河系でも同様の星団形成メカニズムが働いていることが示唆される。Pismis24 星団には太陽の 70—80 倍の質量を持つ星が整列しており、ガスの流入方向と一致している。このような構造は、銀河系でも 100 万太陽質量規模のガスの落下が頻繁に起きていることを示しており、落下雲によって銀河系の星形成領域が活性化している可能性がある。さらに、彼岸花星雲では、複数のフィラメントが交差する領域に高密度の星団が形成されており、磁場とガス流の相互作用が星形成を促進していると考えられる。

今後の研究課題と展望

銀河系内外での衝突現象が星形成に与える影響は強烈であるが、これまでの研究ではその重要性は見逃されてきた。今後、格段に広範囲な観測とモデルの照合が重要となる。特に、衝突の速度が毎秒 100km におよぶために、従来よりも二桁広い範囲を視野にいれる必要がある。ALMA や JWST による高精度な観測も、星団形成のメカニズムをさらに明らかにする鍵となる。