

棒渦巻銀河における巨大分子雲の形成と進化

藤本 裕輔 (北海道大学大学院宇宙理学専攻)

Abstract

我々は棒渦巻銀河における巨大分子雲の形成と進化を調べるため、棒渦巻銀河 M83 をモデルとした三次元の高分解能シミュレーションを行った。50kpc のシミュレーション領域に対して、分解能は約 3pc である。我々は棒状構造部、渦状腕、円盤領域などの棒渦巻銀河の各領域における巨大分子雲の性質と、巨大分子雲の進化を追うことで得られる分子雲衝突の頻度などを調べた。分子雲衝突の頻度は領域によって大きく異なり、棒状構造部、渦状腕、円盤領域の順で高いことがわかった。また、各領域における巨大分子雲の性質もわずかに異なり、棒状構造部や渦状腕では分子雲の重力的な束縛が円盤領域に比べてわずかに弱いことがわかった。我々は、観測で示唆されている棒渦巻銀河における星形成活動の違いを分子雲衝突頻度の違いで説明できる可能性があることを明らかにした。

1 Introduction

星形成は銀河進化における重要な物理過程の一つである。銀河は星、ガス、ダークマターで構成された天体であり、星は銀河の重力ポテンシャルによって集積したガスの集まり (分子雲) の中で形成される。また、寿命を迎えた星が起こす超新星爆発は、星間空間に大量のガスとエネルギーを放出し、次の星形成に影響を与える (フィードバック)。ガスと星の輪廻転生は銀河の歴史そのものである。その意味で銀河構造と分子雲形成・星形成との関係を明らかにすることは非常に重要である。我々は銀河のガス面密度と星生成率 (単位時間あたりに生まれる星の総質量) の面密度の間に成り立つ観測的な経験則、Kennicutt-Schmidt 則に注目している (Kennicutt 1998)。この KS 則は銀河のガス面密度と星生成率面密度には良い相関があることを示している。

しかし、近年、高分解能の分子ガス観測が進み、銀河の種類や銀河内部の構造などの違いによる星形成の環境依存性が示されている。例えば、棒渦巻銀河 NGC4303 の CO 分子観測によって、棒状構造部 (Bar) と渦状腕 (Arm) では両方ともガスの面密度が高いにも関わらず、棒状構造部では渦状腕に比べ星生成率が低いことが示唆されている (Momose et al. 2010)。また、我々のグループでは棒渦巻銀河の重力ポテンシャル中のガス運動の高分解能二次元シミュレーションを行い、棒状構造部と渦状腕で形成され

る巨大分子雲の内部運動が異なること、そして、それによって棒状構造部での星生成率は渦状腕に比べ低いことの説明が可能であることを示した (Nimori

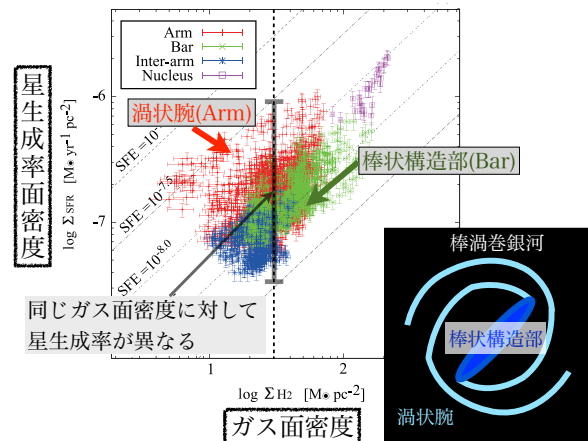


図 1: 棒渦巻銀河における Kennicutt-Schmidt 則 (Momose et al. 2010)。

観測、理論ともに、銀河構造による星形成の環境依存性の物理的な理由は明らかにされていない。その理由は分解能が不十分であるからである。従来の研究では星形成の現場となる分子雲を分解することもできていなかった。また、Shetty & Ostriker (2006) や Nimori et al. (2012) などは高分解能の二次元銀河シミュレーションによって分子雲を分解することに成功しているが、二次元計算であることは大きな問題である。Nimori らは棒状構造部と渦状腕での分

子雲内のガスの運動状態（乱流運動）の違いが分子雲の星生成効率の違いを生み出している可能性を示しているが、乱流運動に大きな影響を与える分子雲同士の衝突や超新星爆発などによるフィードバックは、銀河面に垂直な方向のガス運動も考慮して解析すべき物理現象である。

よって、高解像度三次元シミュレーションを行う必要がある。二次元に比べ莫大な計算資源が要求される三次元計算においても分子雲内のガスの内部運動まで分解するためには、高い空間分解能で、尚かつ効率の良い数値流体計算コードを用いる必要がある。

2 Methods

高精度数値流体計算コードである”Enzo”を用いて、棒渦巻銀河の三次元シミュレーションを行った。Enzoは適合格子細分化法を使用しており、高分解能かつ高効率の数値流体計算が可能である。また、格子法を用いているので、フィードバックにおける衝撃波面や高温希薄ガスの運動を精度よく解けることも長所として挙げられる。一方で、適合格子細分化法はシミュレーション結果が複雑なデータ構造を有するため、計算結果の解析の難しさが弱点であった。しかし、Enzoの開発チームが提供している専用解析ソフト’yt’が大変充実しており、それを活用することで弱点を克服できる。

観測で得られている棒渦巻銀河 M83 の星のポテンシャルを使用している。初期条件のガス分布も M83 の観測結果を元にしている。

考慮している物理過程は 300K まで放射冷却とガスの自己重力である。今回の計算ではまだフィードバックを考慮していない。フィードバックを考慮したシミュレーションは次の課題である。

3 Results

棒渦巻銀河の各領域での分子雲の性質、分子雲衝突の頻度などを定量的に求めた。我々は分子雲衝突頻度の領域による大きな違いを見いだした。棒状構造部、渦状腕、円盤領域の順で分子雲衝突が高い頻度で起こっていた。一方で、分子雲の性質は領域ご

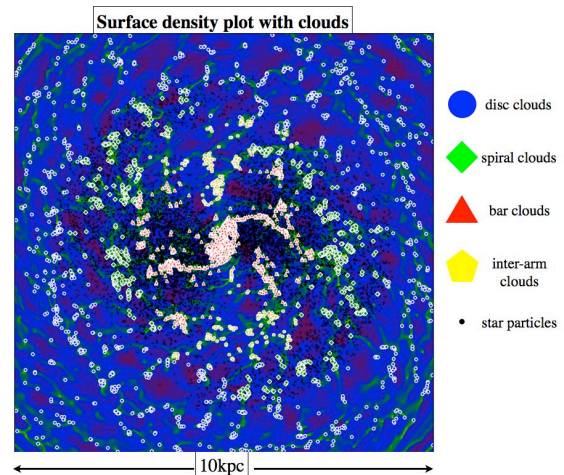


図 2: face-on で見た銀河の表面密度。色マーカーは分子雲を表している。

とでわずかな違いが見られ、棒状構造部では分子雲内部の速度分散が他領域の分子雲よりも大きく、重力的な束縛度合いがわずかに低かった。

4 Discussion

分子雲衝突頻度が大きく異なることから、観測で示唆されている棒渦巻銀河における星形成活動の違いは、分子雲衝突頻度の違いで説明できる可能性がある。

分子雲衝突頻度の領域による違いと星形成との関係を明確にすることが次の課題である。分子雲衝突による圧縮が星形成を誘発する場合もあれば、逆に分子雲衝突によって分子雲が破壊され、星形成が抑制される場合も起こりうる。我々の研究で示した分子雲衝突がどのようなものであるかを示す必要がある。

また、星からのフィードバックを考慮したシミュレーションを行うことも必要である。フィードバックは分子雲の形成と進化に大きな影響を及ぼす可能性がある。

5 Conclusion

- 分子雲衝突の頻度は領域によって大きく異なり、棒状構造部、渦状腕、円盤領域の順で高い。

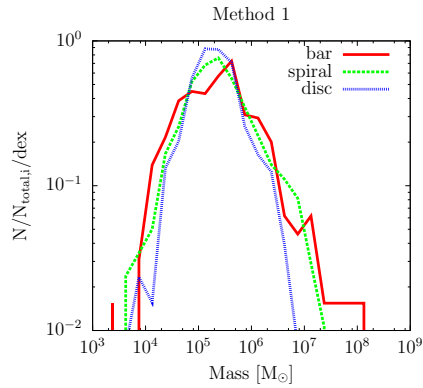


図 3: 分子雲の質量分布

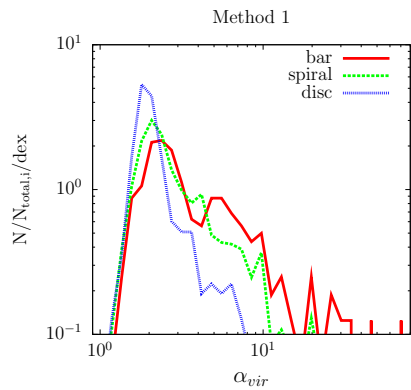


図 4: 分子雲のビリアルパラメーター分布

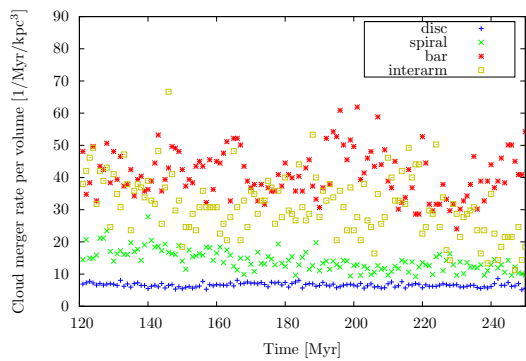


図 5: 各領域における分子雲衝突頻度の時間変化

- 分子雲の質量、大きさ、分子雲内部の速度分散、ビリアルパラメーターは棒状構造部、渦状腕、円盤領域などの各領域でわずかに異なり、棒状構造部や渦状腕では分子雲の重力的な束縛が弱い。

Reference

- Bryan, G. L. 1999, *Comput. Sci. Eng.*, Vol. 1, No. 2, p. 46 - 53, 1, 46
- Bryan, G. L., & Norman, M. L. 1997, *arXiv:astro-ph/9710187*
- Hirota, A. 2009, Private communication
- Hirota, A., Kuno, N., Sato, N., et al. 2011, *ApJ*, 737, 40
- Kennicutt, R. C., Jr. 1989, *ApJ*, 344, 685
- Momose, R., Okumura, S. K., Koda, J., & Sawada, T. 2010, *ApJ*, 721, 383
- Nimori, M., Habe, A., Sorai, K., et al. 2012, *MNRAS*, 393
- O'Shea, B. W., Bryan, G., Bordner, J., et al. 2004, *arXiv:astro-ph/0403044*
- Tan, J. C. 2000, *ApJ*, 536, 173
- Tasker, E. J., & Tan, J. C. 2009, *ApJ*, 700, 358
- Tasker, E. J. 2011, *ApJ*, 730, 11