

## Formation of massive star clusters by gas collisions in the low-metal environment of the early Universe

### 宇宙初期の低金属環境におけるガス衝突による大質量星団形成

前田龍之介  
東北大学

#### 1. 研究目的

銀河は宇宙の基本的な構成要素であり、約 100 億年にわたって星間ガスから星を生み出しながら進化してきた。銀河内の星の多くは星団として形成することが知られている (Lada+03) が、質量が  $M > 10^4 M_{\odot}$  の大質量星団の形成メカニズムには未解明の点が多く残っている。特に、銀河系においては、大質量星団はその進化の初期段階でのみ形成されており、過去の大質量星団の起源は未解明の謎である。一方で、近年の大マゼラン雲 (LMC) の観測によって、LMC の大質量星団 (YMC) は非常に大スケール (~ kpc) な HI ガスの高速衝突 (~ 100 km/s) によって形成することが観測的に示唆された (Fukui+17, Tsuge+19)。申請者の過去の研究では、観測で示唆された HI ガスの高速衝突による YMC 形成シミュレーションを行い、実際に観測で示唆された高速な HI ガス衝突によって  $M \sim 10^5 M_{\odot}$ ,  $L \sim 6$  pc 程度の YMC が形成可能であることを明らかにした (Maeda et al. 2021, 2024)。一方で、銀河系形成初期の低金属ガスにおける星団形成については未だ解明されておらず、現在銀河系で観測されている古い大質量星団の起源は依然として謎のままである。

そこで本研究では、宇宙初期環境における星団形成に注目し、これまで行なってきた計算より低金属環境 ( $\lesssim 0.01 Z_{\odot}$ ) の星団形成について調べる。ここで、低金属環境下では冷却効率の減少から大質量星団が形成しやすい条件であると考えられており、宇宙初期環境を模した低金属ガスの衝突シミュレーションを行うことによって、宇宙初期と現在の銀河系における星団形成の違いを明らかにすることができる。

#### 2. 研究成果の内容

本研究では、HI ガスの金属量として  $Z = 10^{-4} Z_{\odot}$  を考え、ガスの衝突スケールと速度は Maeda et al. (2021, 2024) と同様に、銀河間相互作用のスケールである大スケール ( $\geq 100$  pc) かつ高速 (~ 100 km/s) な衝突を考えた。その結果、低金属環境における衝撃波圧縮層での高密度構造の形成には、金属冷却でなく水素分子冷却が重要であることがわかった (図 1)。金属冷却よりも水素分子冷却が優勢であるとき、衝撃波圧縮層の高密度ガスは太陽金属量の場合と異なり熱的に安定になる可能性がある (Inoue+15)。そのため、形成するガス塊の分裂が抑制され、宇宙初期の星団はより大質量になる可能性があることがわかった。本研究成果は、宇宙初期と現在における星団形成過程の相違を理解するための重要な手がかりを提供するものである。今後、本研究をさらに発展させることで、宇宙初期にお

ける大質量星団の形成過程について、より深い理解が得られると期待される。

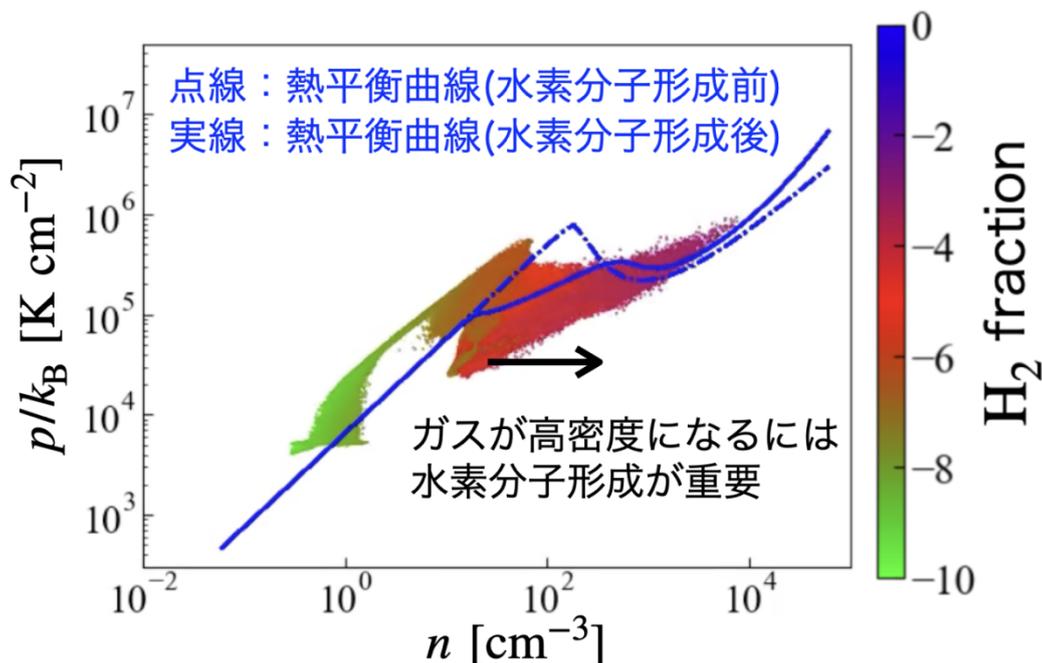


図 1.  $Z = 10^{-4}Z_{\odot}$ かつ太陽近傍の UV 強度を用いた 3DMHD 計算の結果の相図。低金属環境では太陽金属量とは異なるガスの進化になる。

### 3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

本研究においては、項目 2 で実施した計算の一部において、学際共同利用プログラムを活用させていただいた。これにより、計算手法の妥当性やパラメータ設定の検証を効率的に進めることが可能となり、本研究の重要な基盤を築くことができた。

### 4. 今後の展望

本研究では金属量が  $Z = 10^{-4}Z_{\odot}$  のみの計算を行なったが、今後はより幅広いパラメータレンジの計算を行い、星団質量の金属量依存性を解明するつもりである。

### 5. 成果発表

#### (1) 学会発表

- ・"宇宙初期の HI ガス衝突による大質量星団形成とその環境依存性の研究", 前田龍之介, 大向一行, 井上剛志, "日本天文学会 2025 年春季年会", P134a, 水戸市民会館, 2025 年 3 月 17-20 日
- ・"宇宙初期環境における HI ガス衝突による大質量星団形成", 前田龍之介, 大向一行, 井上剛志, "初代星・初代銀河研究会 2024", 信州大学(長野キャンパス), 2024 年 11 月

11-13 日

・ "宇宙初期環境における HI ガス衝突による大質量星団形成", 前田龍之介, 大向一行, 井上剛志, "日本天文学会 2024 年秋季年会", P128a, 関西学院大学, 2024 年 9 月 11-13 日

使用計算機	使用計算機に ○	配分リソース※		
		当初配分	移行*	追加配分
Cygnus				
Pegasus				
Wisteria/BDEC-01	○	188,340		0
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				