

分子雲の構造進化の理解に向けた自己重力流体シミュレーションの解析

筑波大学 宇宙観測研究室 佐々木 誇虎

1. 研究背景, 目的

星形成は高密度な星間ガスである分子雲で行われる

⇒ 分子雲はどのような構造を経て星形成へ至る？

星形成の研究手法

- 観測: 複数の分子雲の構造などを比較して進化段階を相対的に評価 ⇒ 単一分子雲のデータからでは構造進化の理解は困難
- シミュレーション: 観測データを再現するための様々な流体モデルから、星形成機構を研究

⇒ 観測を再現したシミュレーションで自己重力流体の時間発展を解析することで、分子雲の構造進化を研究することが容易に

研究目的

分子雲進化の詳細な理解のため、自己重力流体シミュレーションを解析

観測データとの比較ができるよう、主に観測で用いられる手法で解析を行う

2. 対象データ, 解析手法

対象データ

質量 $10^6 M_{\odot}$, 面密度 $350 M_{\odot} \text{ pc}^{-2}$, 半径 30 pc の一様な流体が自己重力により変化

四つの時点での質量データを取得: 視線速度, 位置, 位置の三次元アレイ

⇒ 観測データと同様の形状であり、シミュレーションとの比較が容易

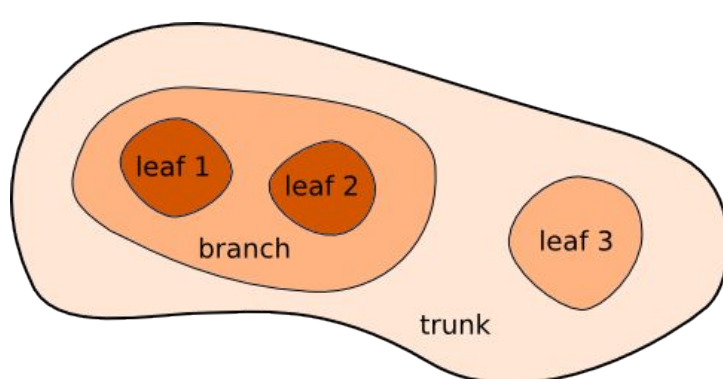
- 視線速度に沿った積分強度図
- 三次元空間上にプロットした散布図

の二種類の図を作成, 解析の対象とした

解析手法

Dendrogramを用いて解析

- 内部構造を持たない最小構造: リーフ
- 内部構造を包含する構造: ブランチ
- 最外部の構造: トランク



Dendrogramによる階層構造
<https://dendrograms.readthedocs.io/en/stable/>

観測で用いられる構造解析の手法をシミュレーションに適用

⇒ シミュレーションと実際の観測データとの比較が容易

得られた構造それぞれのサイズ, 質量, ビリアルパラメータを求めて考察する

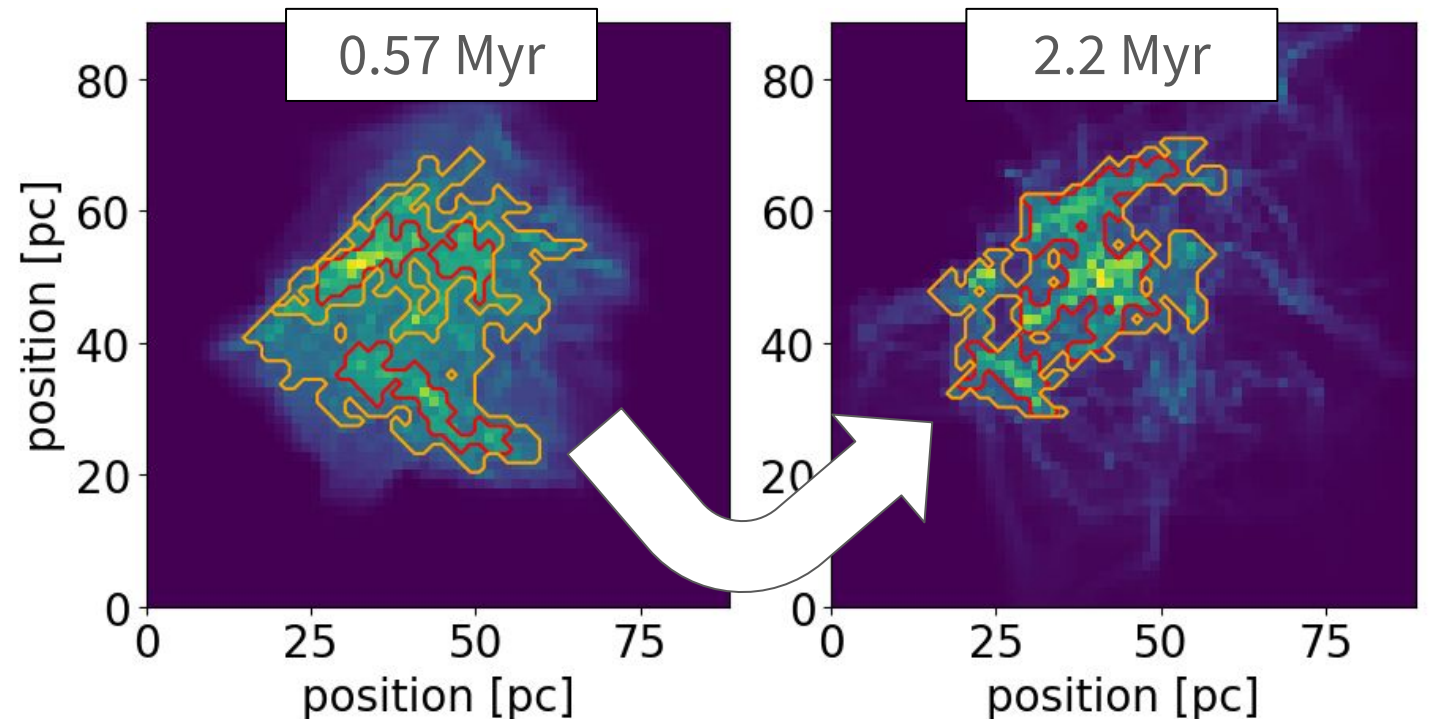
ビリアルパラメータ: 構造の重力ポテンシャルと運動エネルギーとの比, 重力的にどの程度束縛されているか評価

$$\alpha_{\text{Gvir}} = \frac{5\sigma^2 R}{3GM}$$

σ : 三次元速度分散 R : 分子雲の半径
 G : 万有引力定数 M : 分子雲の質量

3. 解析結果, 考察

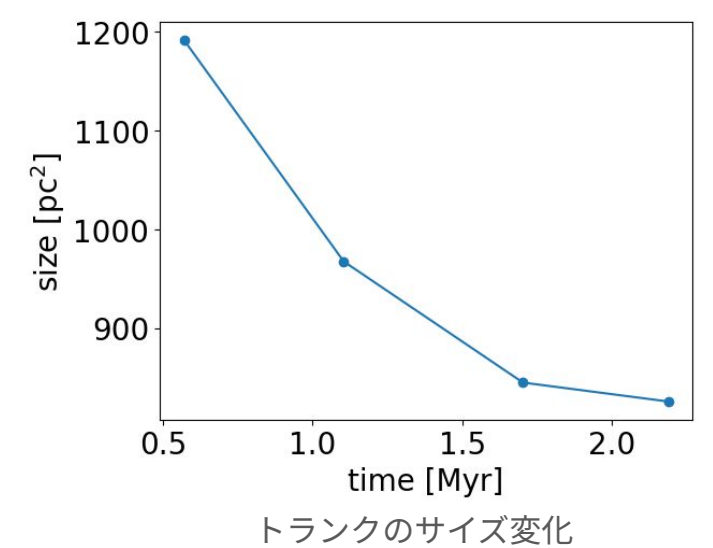
積分強度図の解析結果



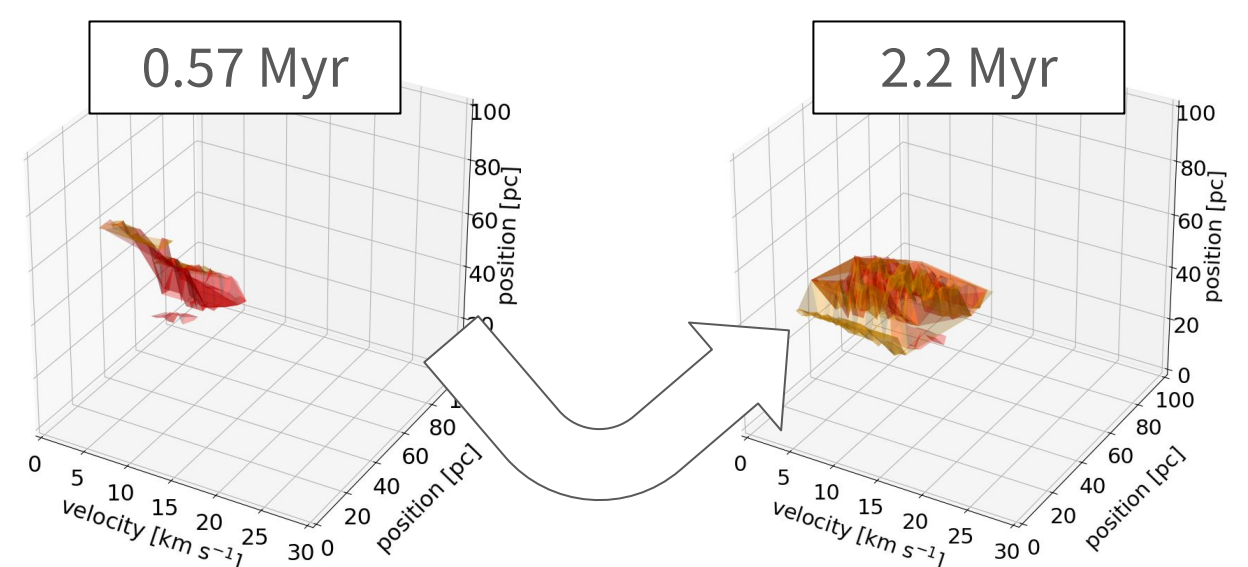
最外部の構造(トランク): サイズと質量は減少, ビリアルパラメータは1に漸近

⇒ ビリアル平衡へ漸近, フィラメント発達

内部構造: サイズ, 質量, ビリアルパラメータともに増減を繰り返す

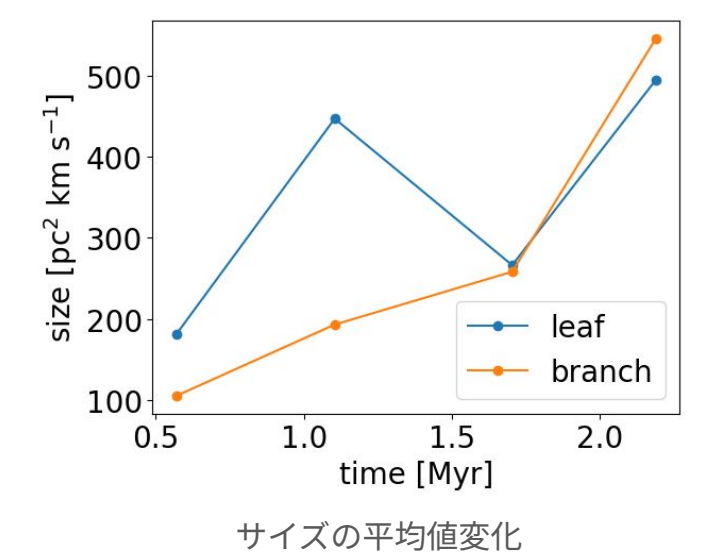


三次元散布図の解析結果



サイズ, 質量, ビリアルパラメータともにリーフは増減を繰り返す, ブランチは増加

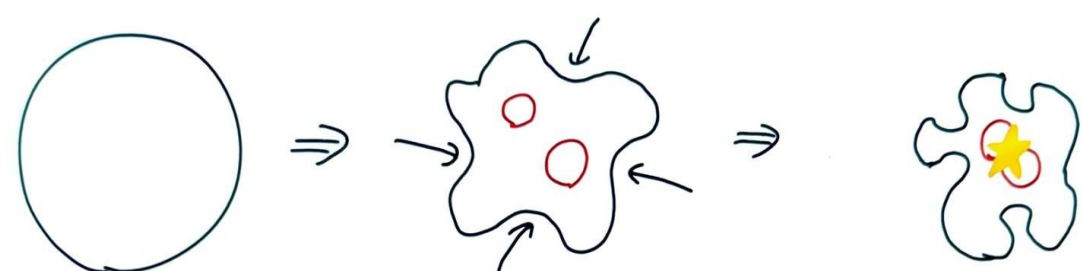
⇒ 小規模な構造が衝突しながら大規模な構造へ成長?



分子雲進化シナリオ

- 全体として徐々に収縮, フィラメント構造発達 ⇒ ビリアル平衡に近づき収縮が収まる
- 内部構造はサイズと質量の増減を繰り返す ⇒ 衝突によって成長

内部構造の衝突・成長が星形成を促進している可能性



分子雲進化の模式図