

# 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

202011722 佐々木 誇虎  
指導教員 久野成夫

# 目次

1. 研究背景
2. 研究目的
3. 解析データ
4. 解析手法
5. 解析結果
6. 議論
7. まとめ

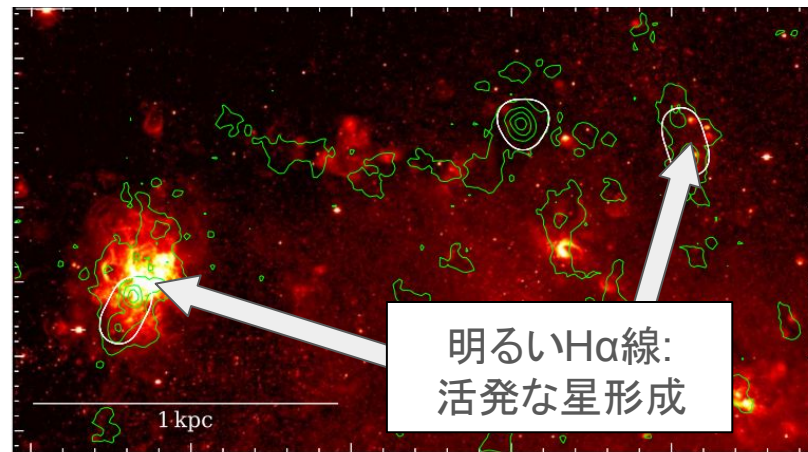
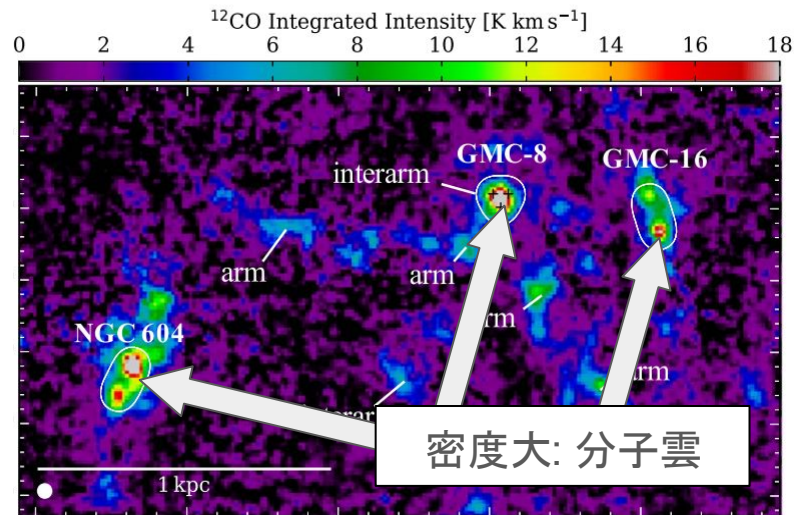
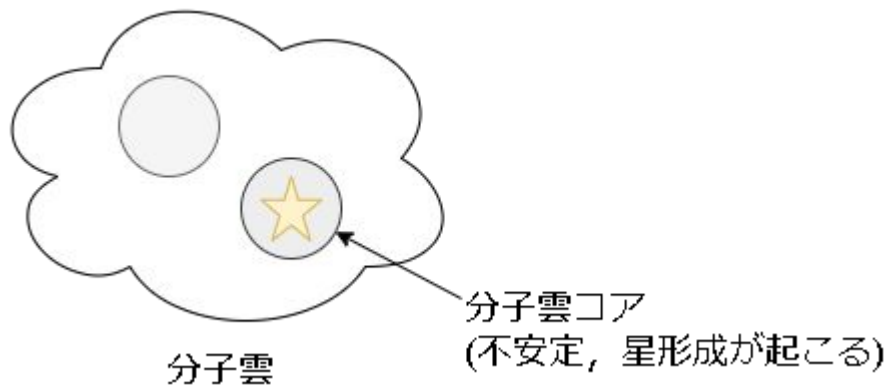
# 研究背景: 分子雲と星形成

星間物質のうち、最も密度が高いガス: 分子雲

特に密度が大きい分子雲コアは重力的に不安定

→ 星形成が行われる

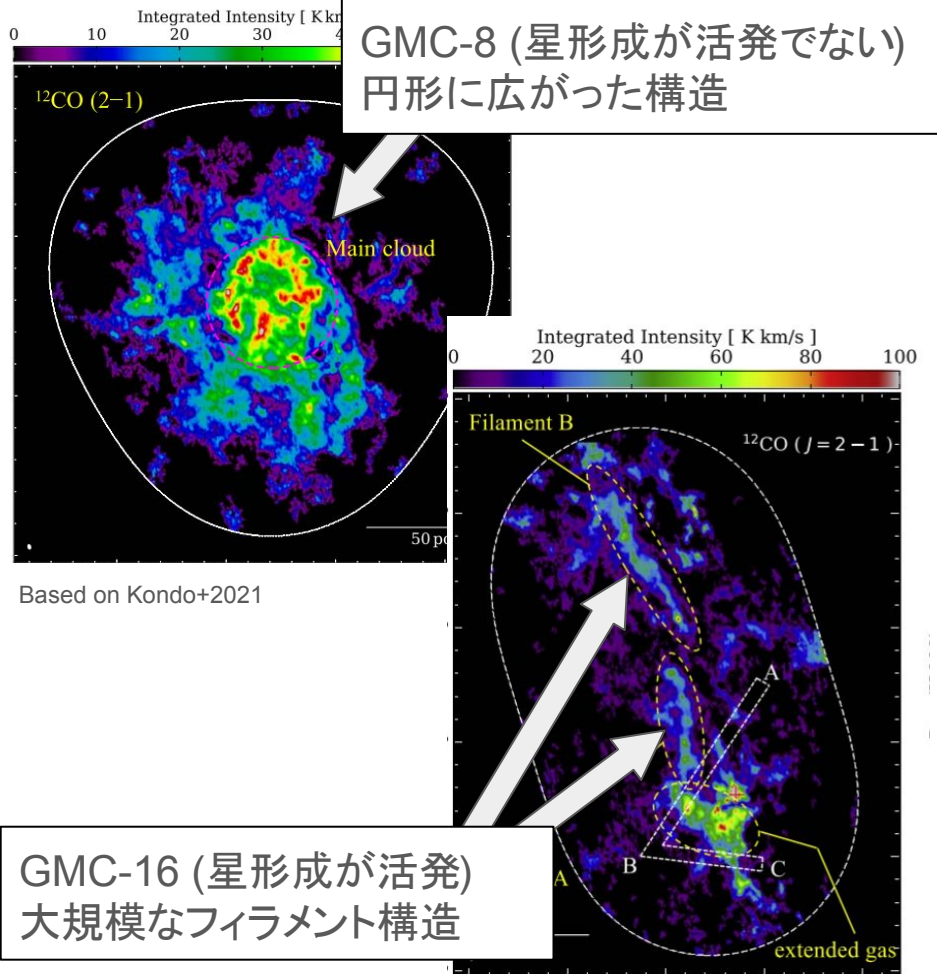
分子雲はどのような構造を経て星形成へ至る？



# 研究背景: 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

- 時間発展に伴い、流体の構造はどのように変化するかに注目
- 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に
- 得られた解析結果から分子雲進化のシナリオを推定

# 対象データ

磁場のない一様な分子雲を想定し、質量  $10^6 M_{\odot}$ 、面密度  $350 M_{\odot} pc^{-2}$

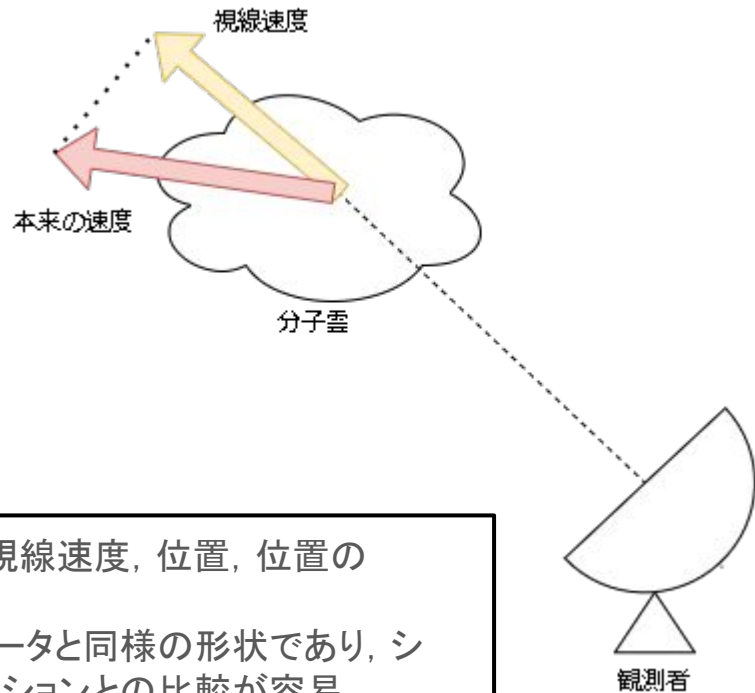
半径30 pcの一様な流体が自己重力により変化

- 0.57 Myr
- 1.1 Myr
- 1.7 Myr
- 2.2 Myr

の時点での質量データを取得

- 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

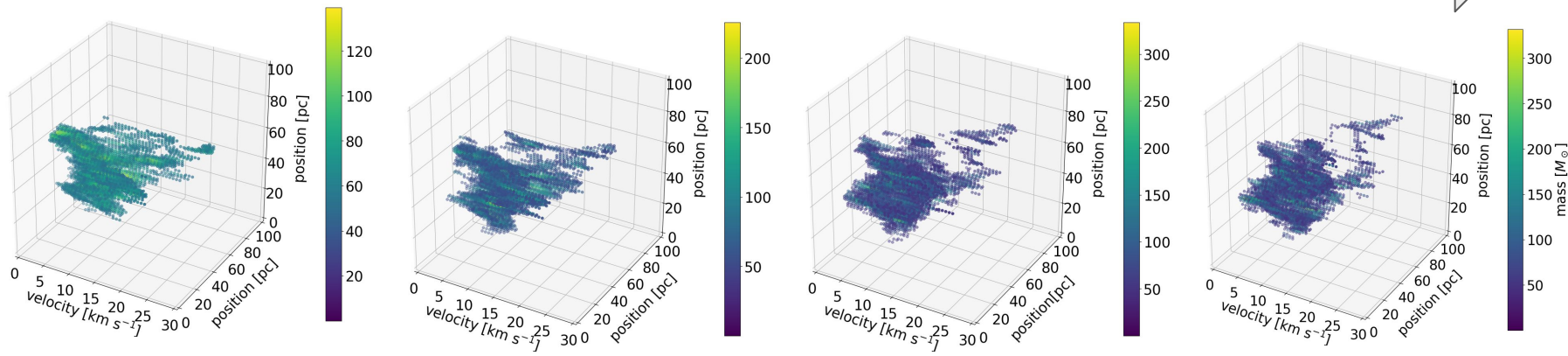
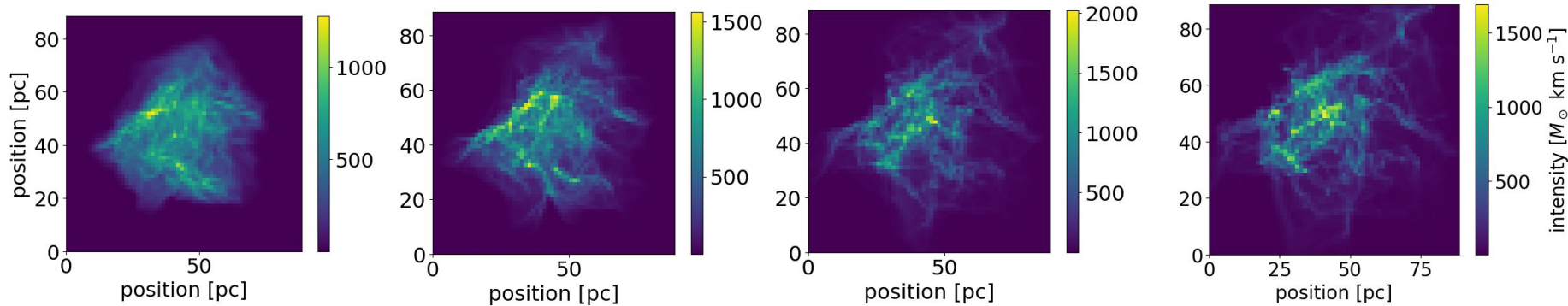


質量データ: 視線速度, 位置, 位置の  
三次元アレイ

→ 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

# 対象データ

## 積分強度図



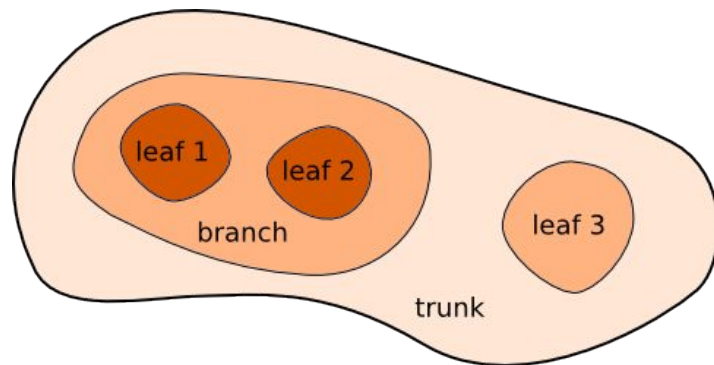
三次元散布図(>40  $M_{\odot}$ )

# 解析手法

## Dendrogramを用いた解析

- 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

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



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

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

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

$\sigma$ : 三次元速度分散

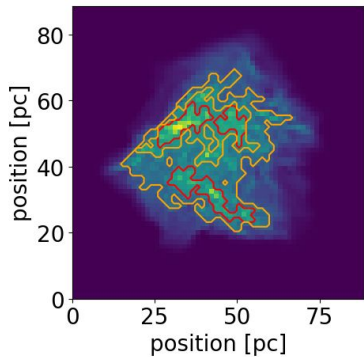
$R$ : 分子雲の半径

$G$ : 万有引力定数

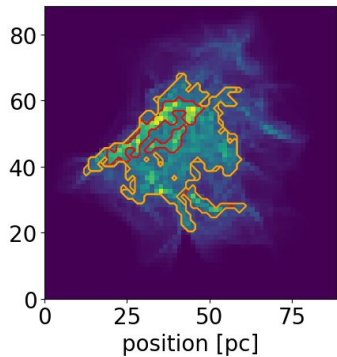
$M$ : 分子雲の質量

# 解析結果

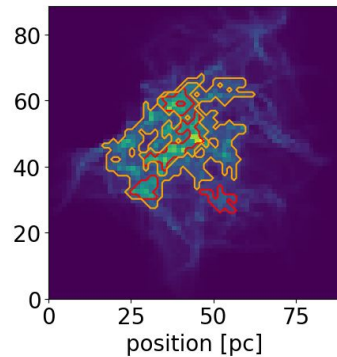
ガスの質量が大きい部分ほどより多くの内部構造を持つ



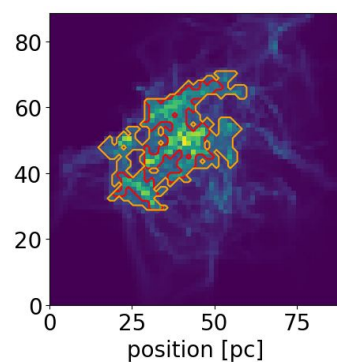
0.57 Myr



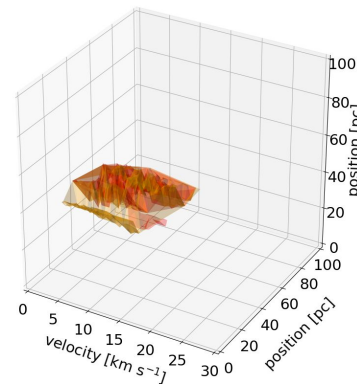
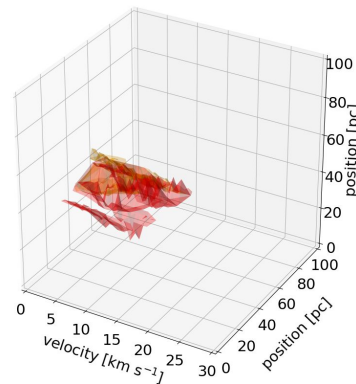
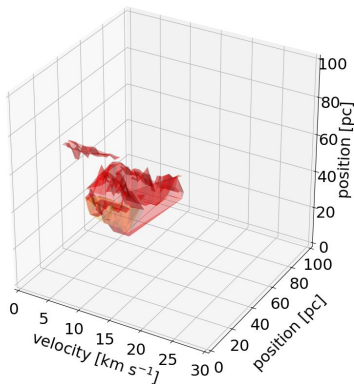
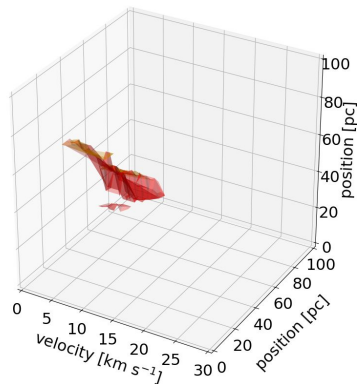
1.1 Myr



1.7 Myr

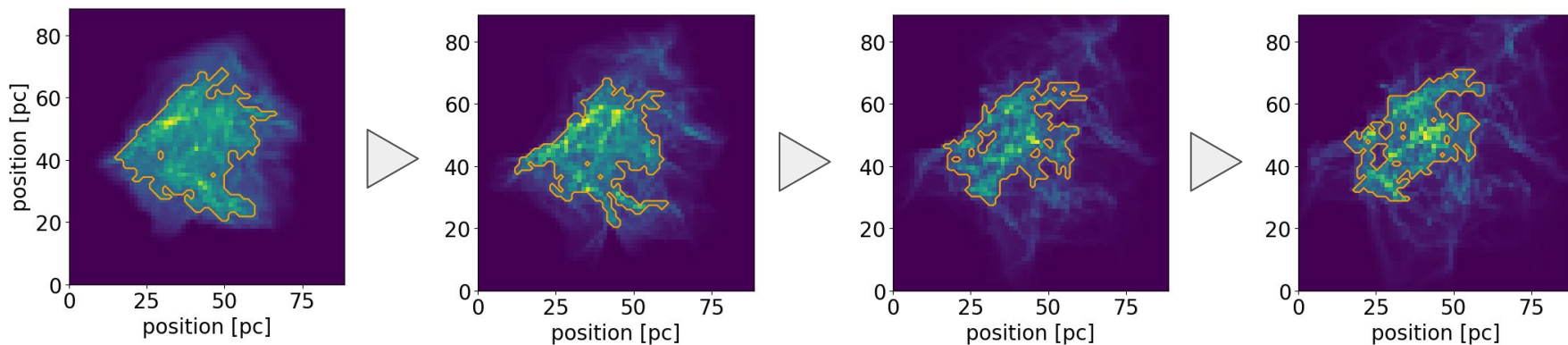
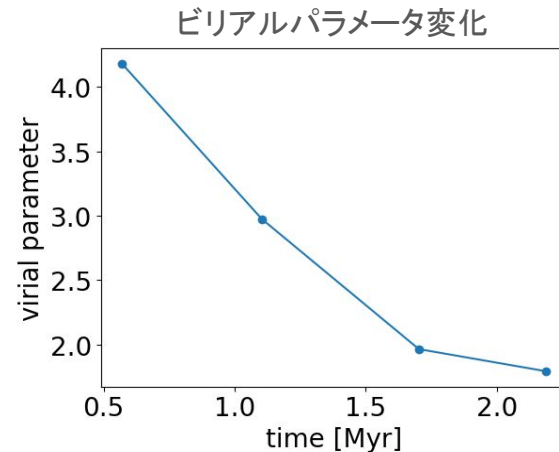
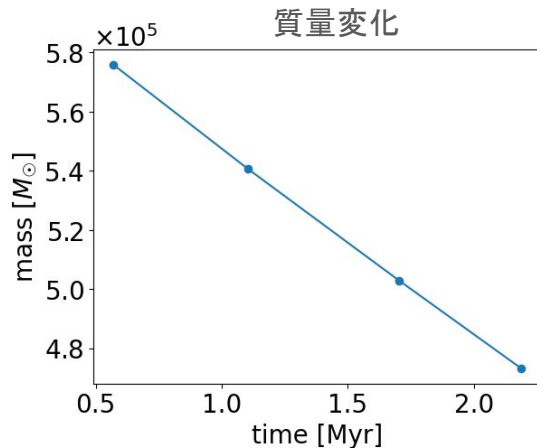
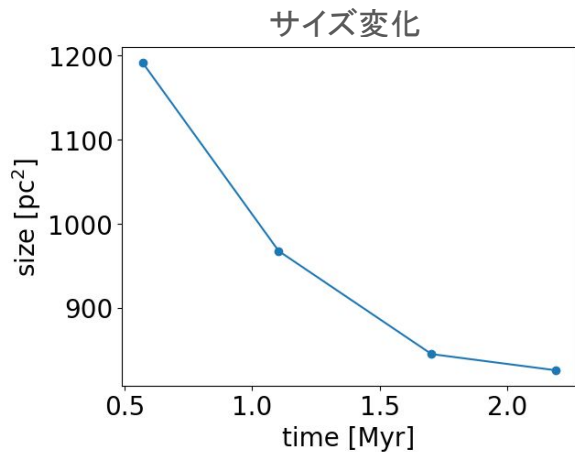


2.2 Myr



# 議論: 積分強度図上のトランクの変化

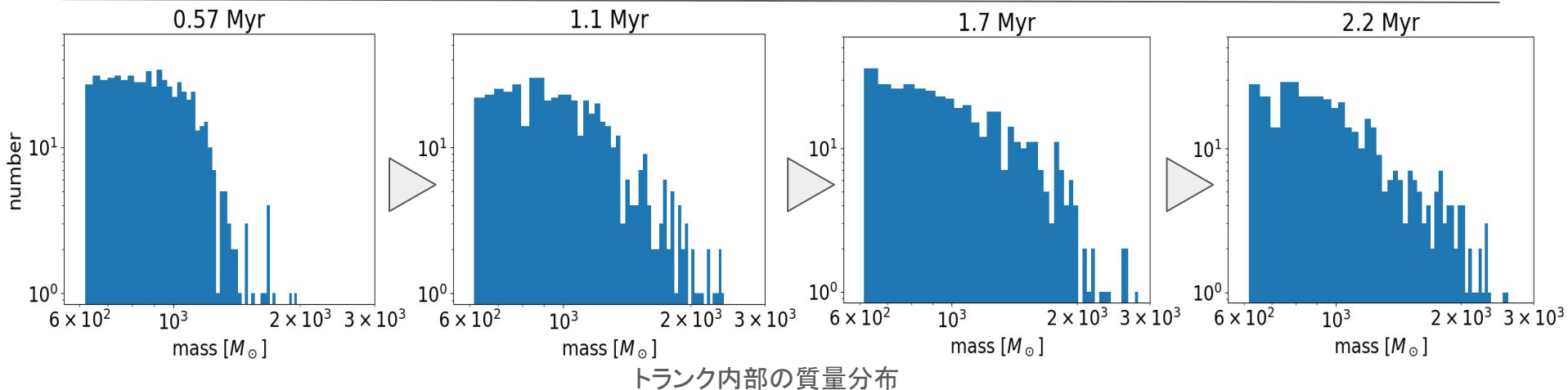
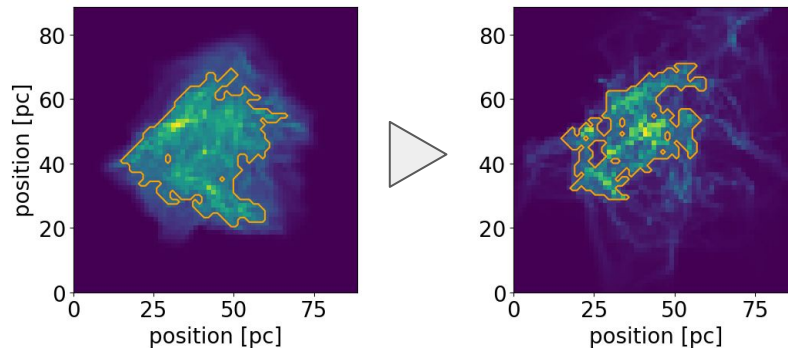
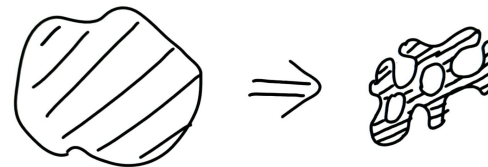
分子雲全体の変化に対応  
全て減少している



# 議論: フィラメント構造の発達

トランク内部の質量のばらつきが増大  
=フィラメント構造の発達

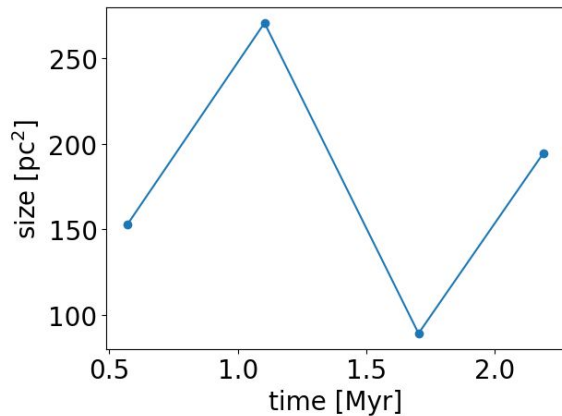
サイズの減少+フィラメント構造の発達によりトランク内部の質量が線形に減少



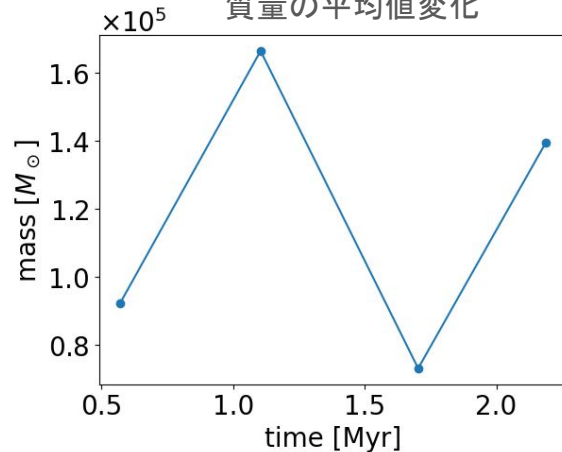
# 議論: 積分強度図上の内部構造の変化

分子雲の内部構造に対応  
全て増減を繰り返している

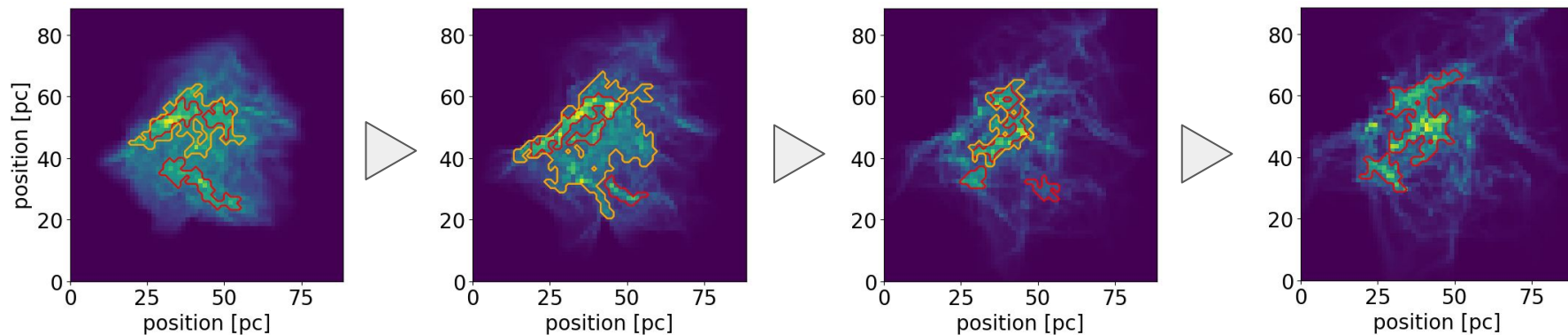
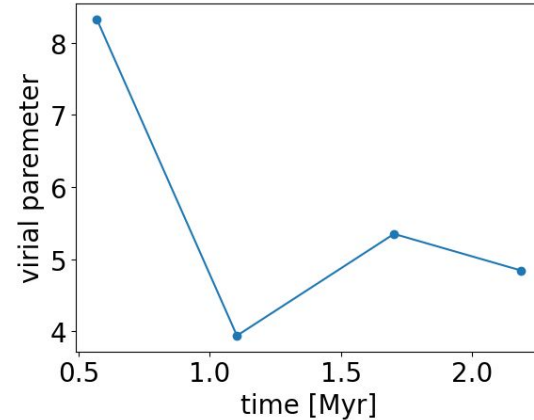
サイズの平均値変化



質量の平均値変化



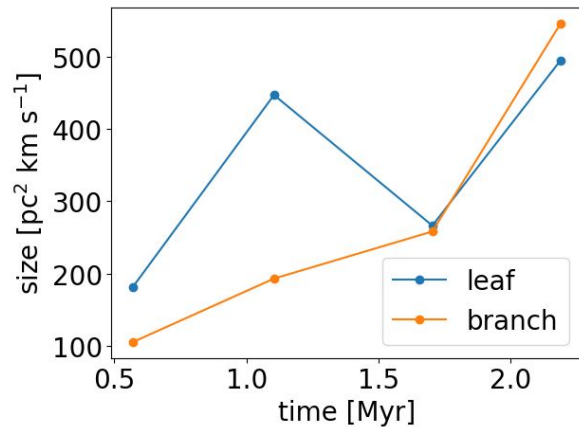
ビリアルパラメータの平均値変化



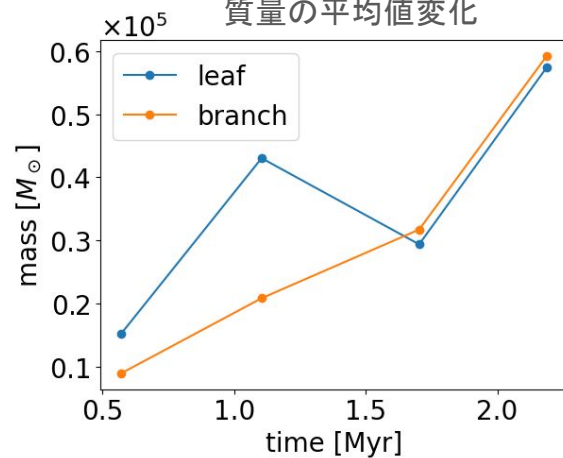
# 議論: 三次元散布図上の各構造の変化

内部構造をより詳細に考察  
増減を繰り返しながら成長

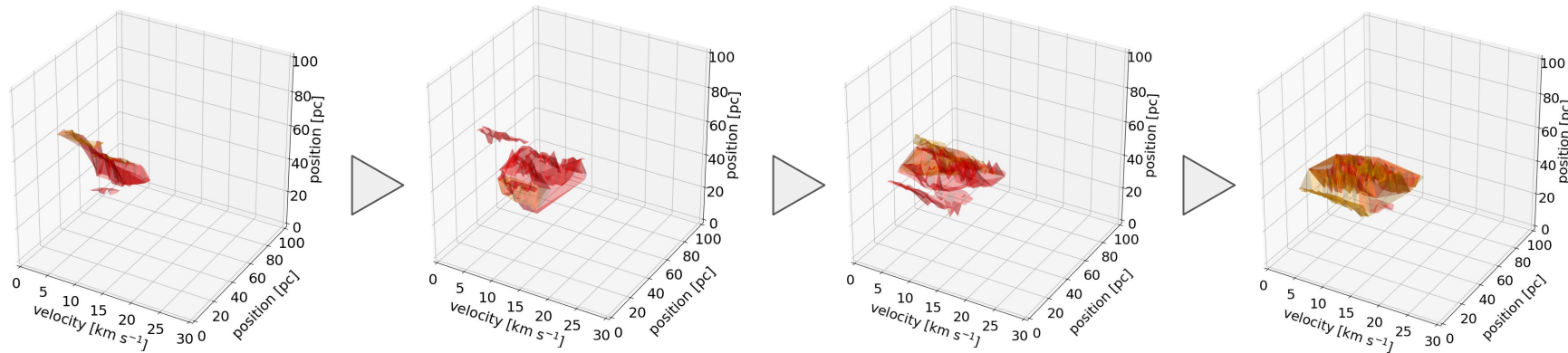
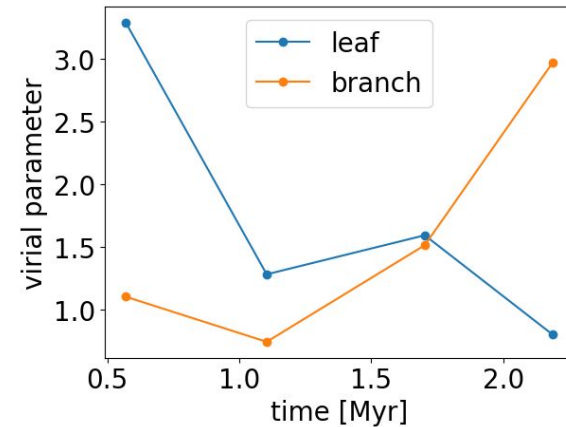
サイズの平均値変化



質量の平均値変化

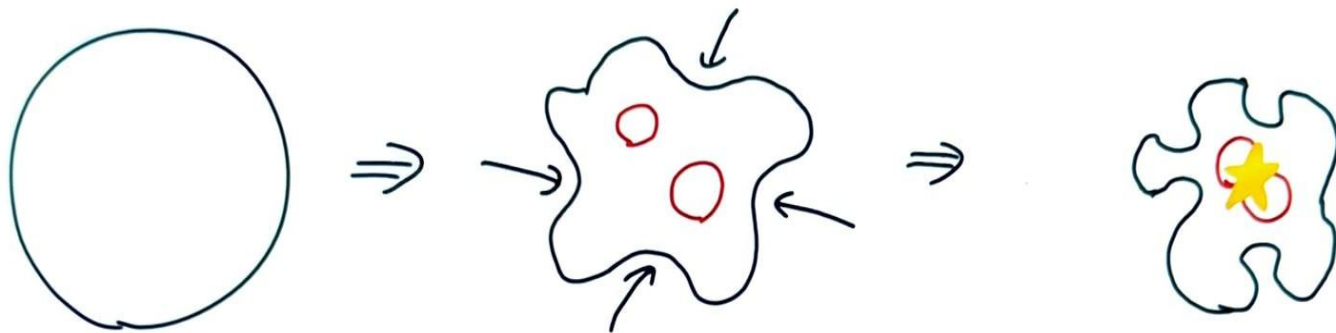


ビリアルパラメータの平均値変化



# 議論: 明らかとなった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展
  - 内部構造はサイズと質量の増減を繰り返す
- 全体の収縮は収まり, 内部構造が衝突により成長して星形成へ?



分子雲進化シナリオの模式図

# まとめ

- 分子雲の構造進化を理解するため、自己重力流体シミュレーションをDendrogramを用いて解析した
- 分子雲は全体としては収縮し、フィラメント構造が発展していたが、徐々にビリアル平衡へ近づいていた
- 分子雲内部の構造についてはサイズや質量が増減を繰り返す、徐々に比較的大きな構造へ成長していた
- 小規模な構造が大規模な構造へ成長する過程において、構造同士の衝突などの原因で星形成が促進される可能性がある

## 今後の展望

- 時間発展をより詳しく調べ、分子雲進化シナリオを確認
- その他のパラメータからなるデータの解析
- 観測データとの比較