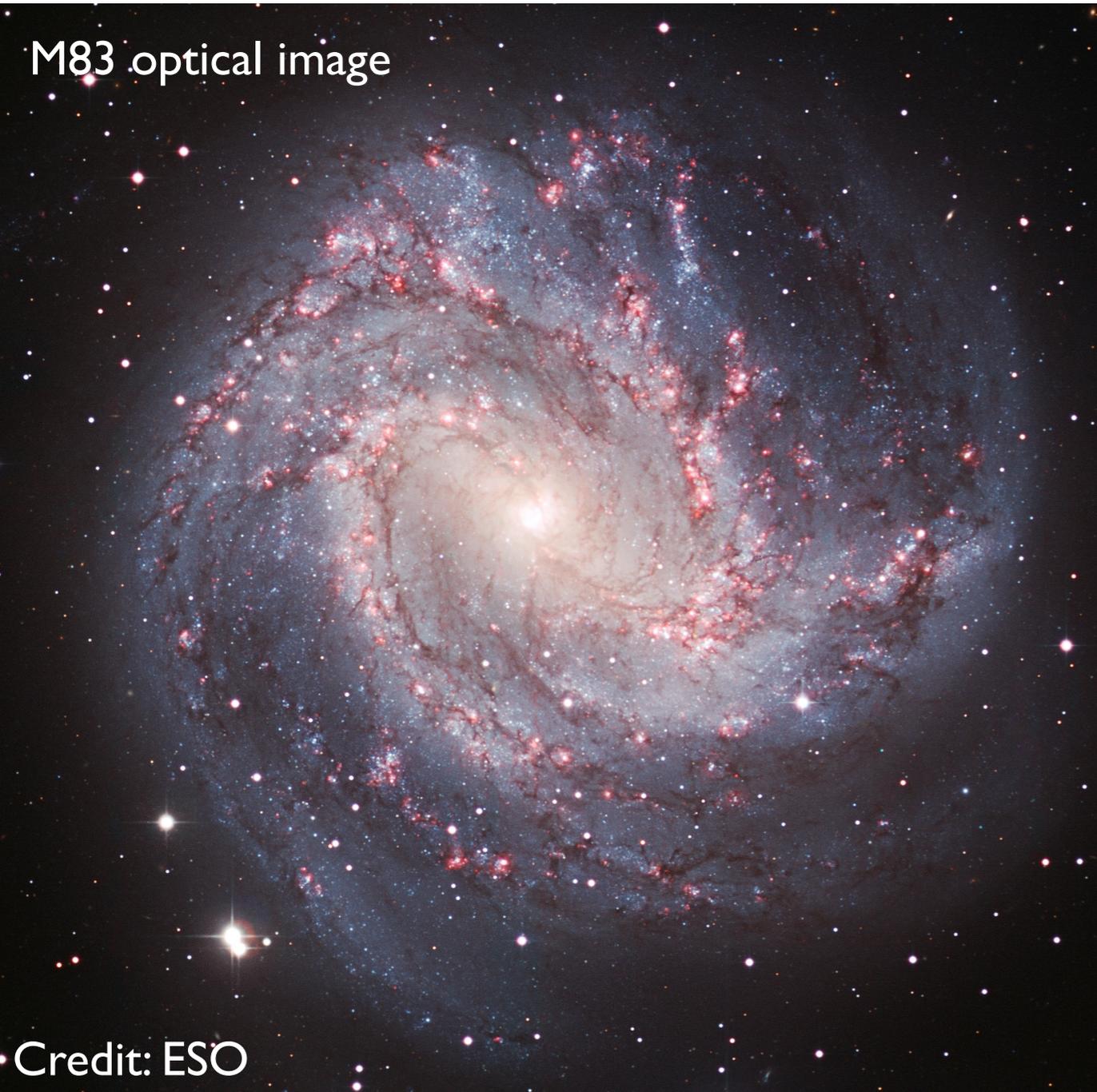


銀河構造が分子雲形成・進化に与える影響

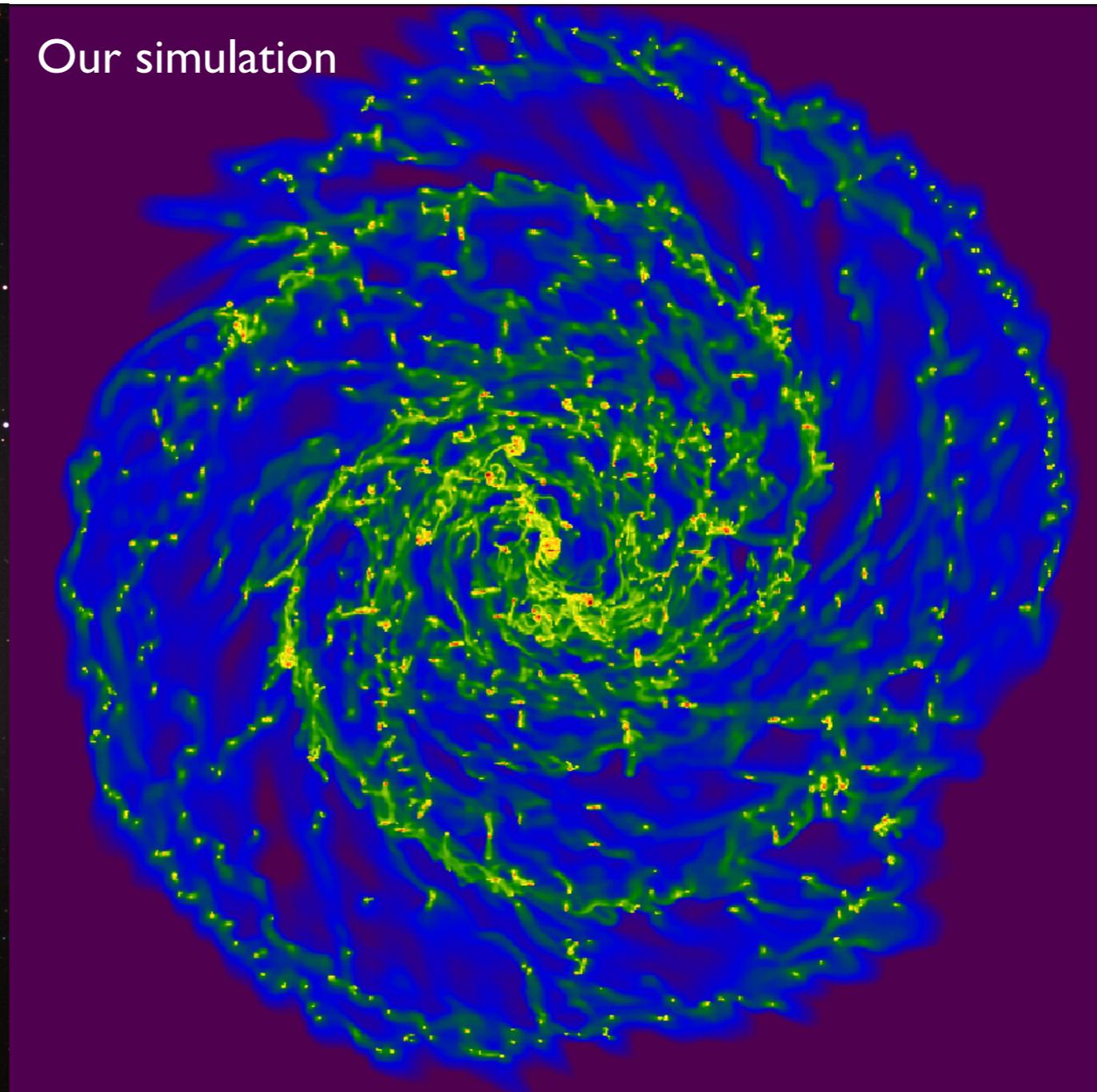
(Fujimoto et al. 2014 MNRAS)

M83 optical image



Credit: ESO

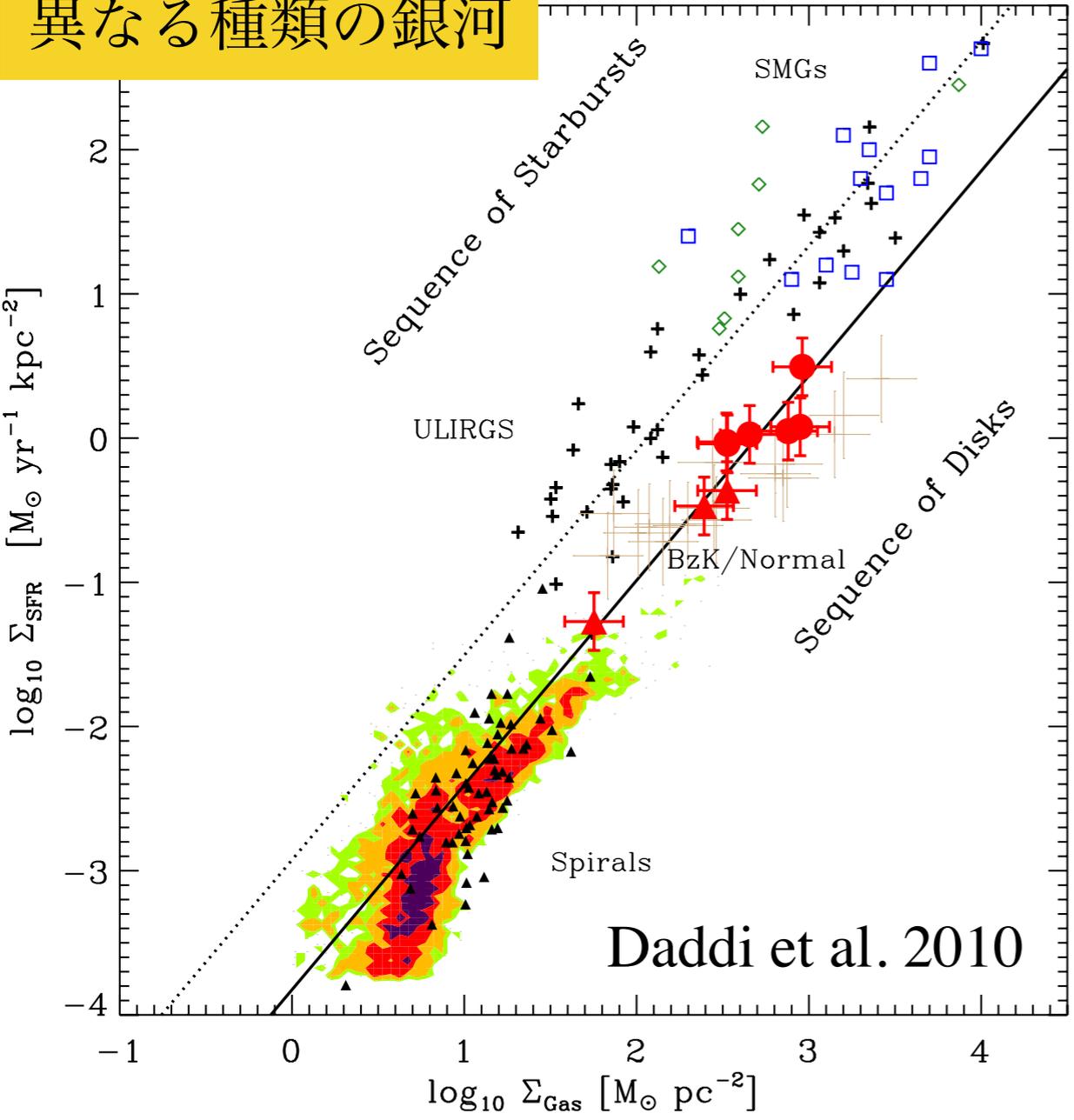
Our simulation



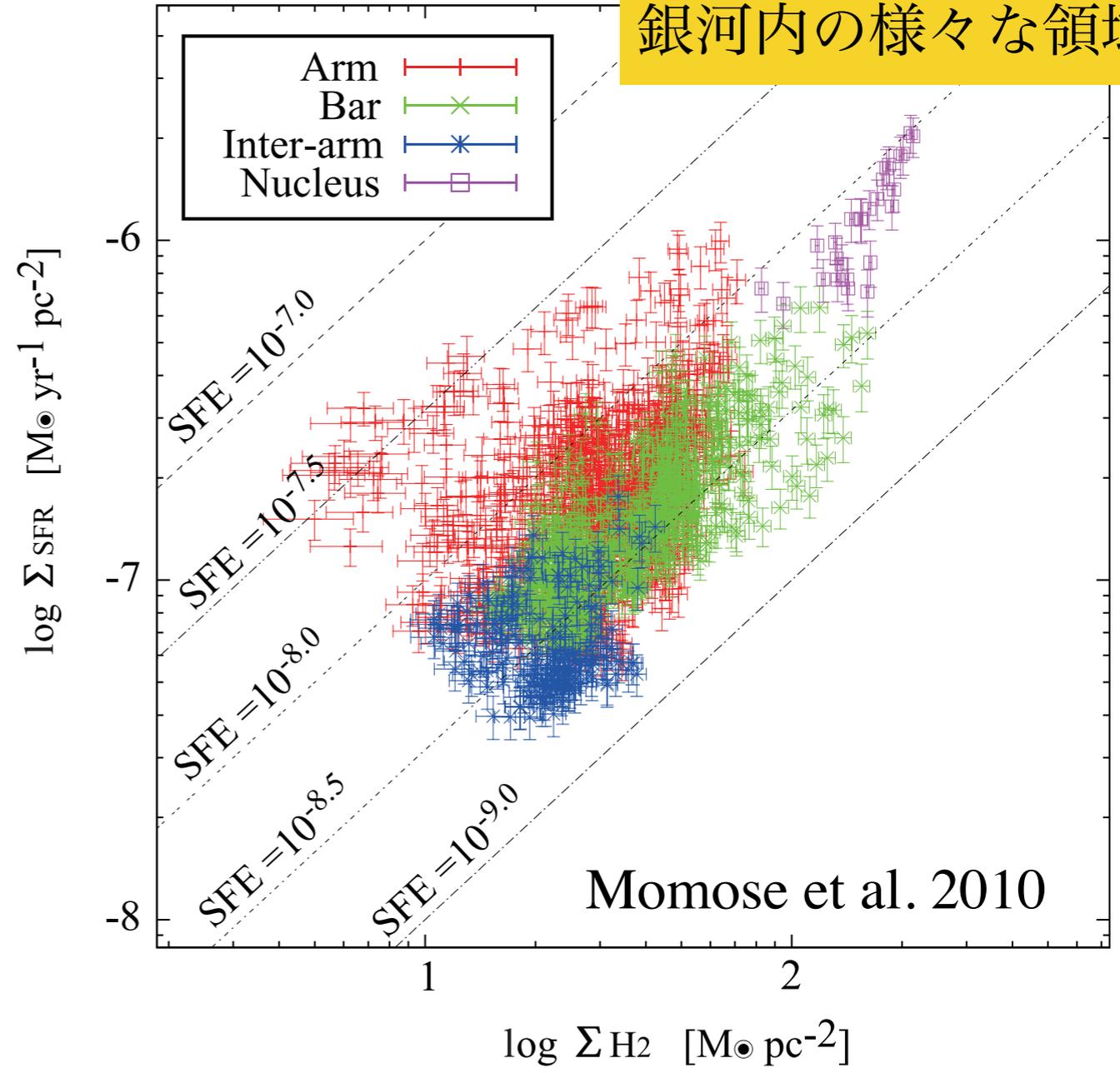
銀河と星形成

銀河のガス面密度と星形成率の間には、大雑把な相関関係が成り立っている(KS則)。しかし、

異なる種類の銀河



銀河内の様々な領域

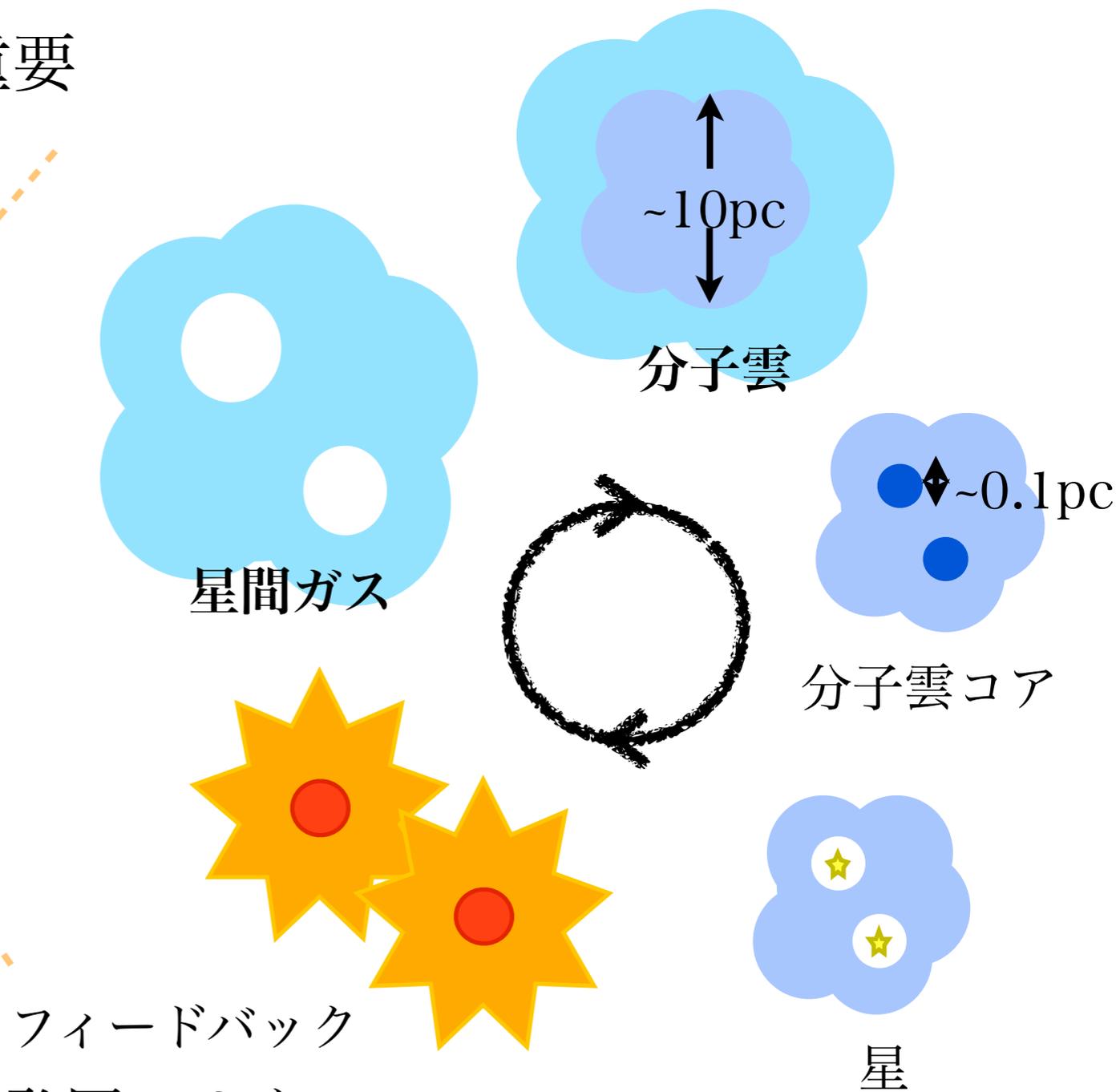
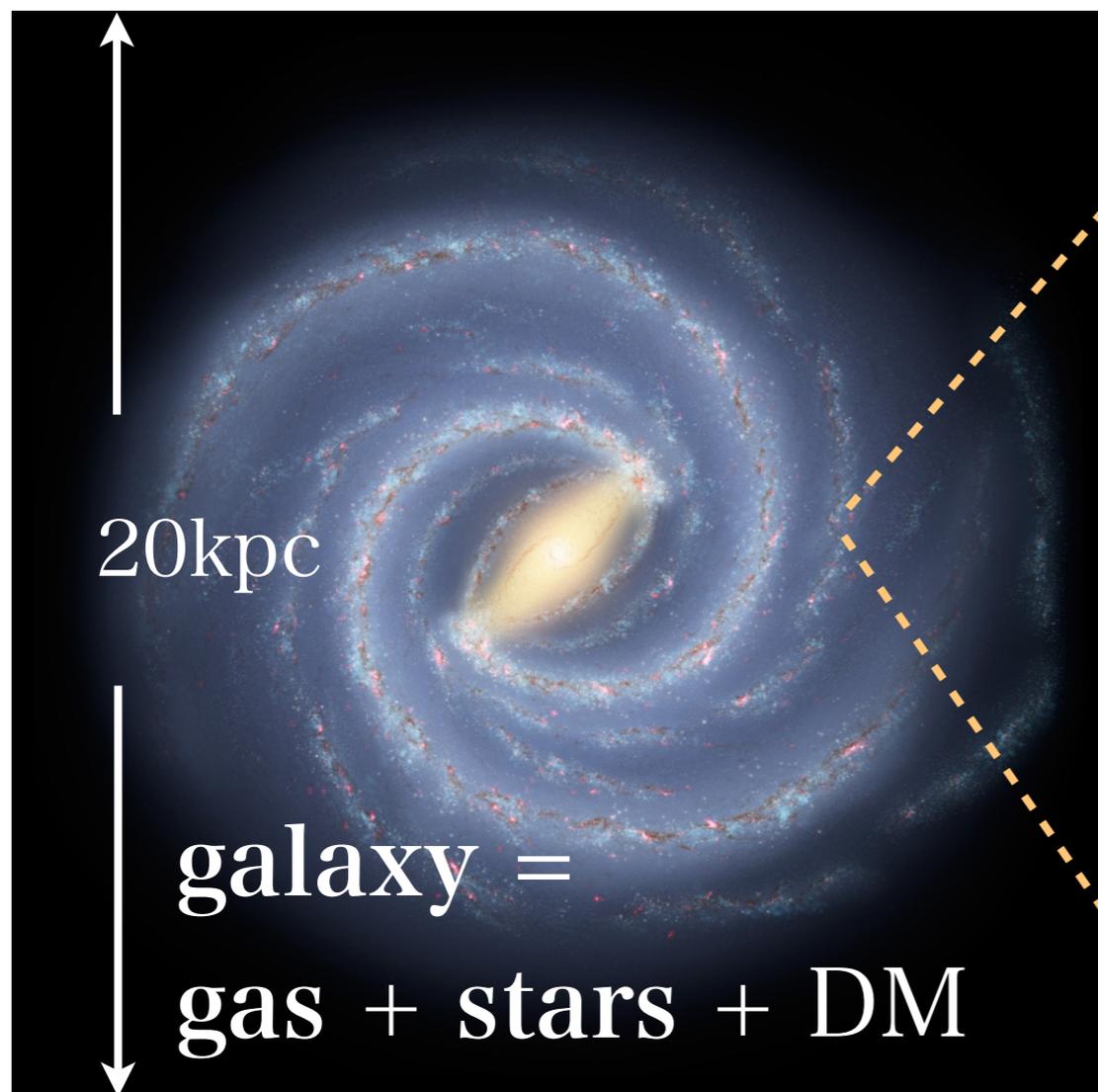


同じガス面密度に対して一桁以上の広い分散がある

-> 銀河における星形成の環境依存性は、ガスの多寡だけで決まらない

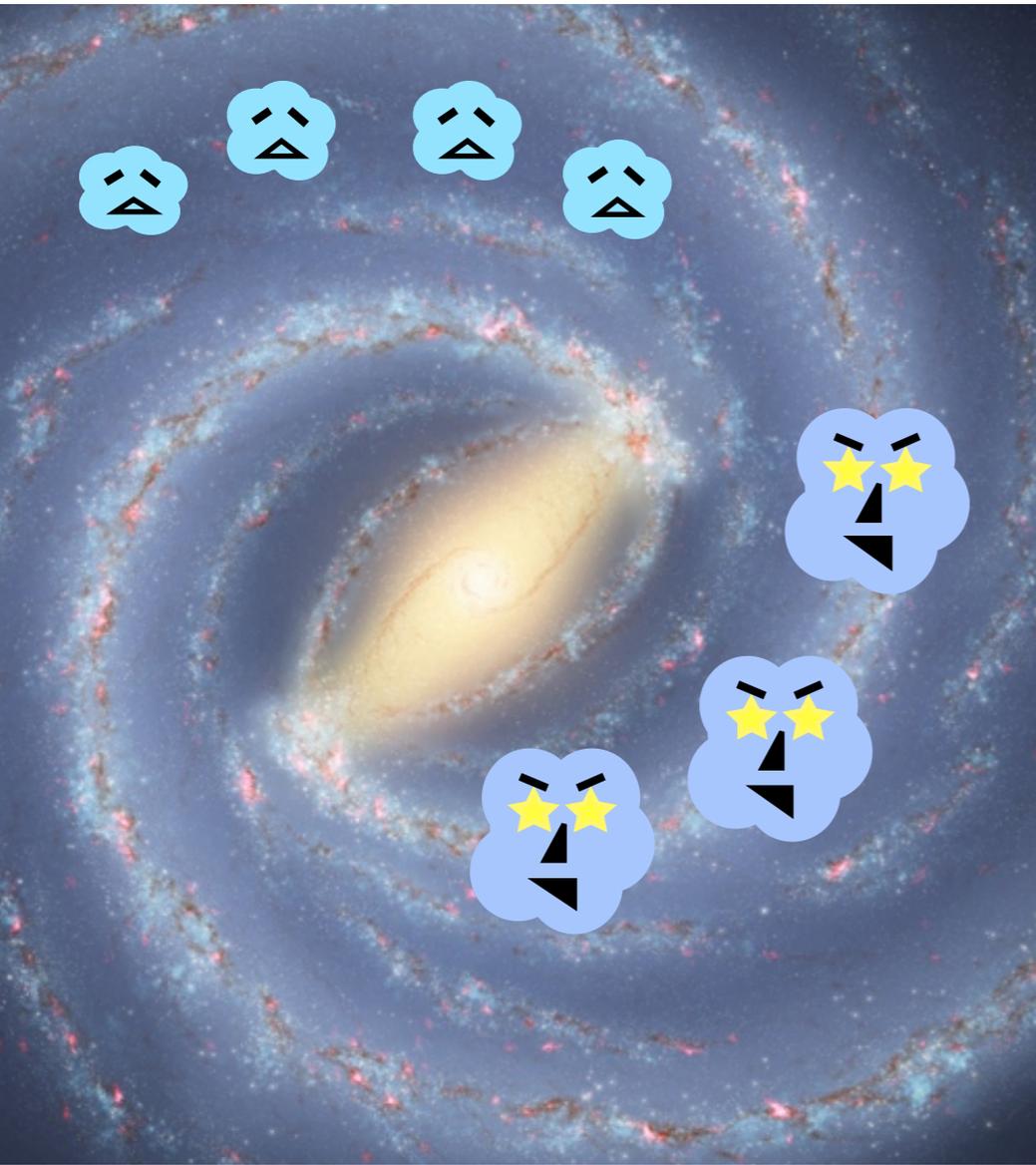
星形成サイクル

銀河における星形成の理解には、
銀河のグローバルなガス運動の中での分子雲形成・進化、
そして星形成に至る過程の研究が重要



ALMAなどの高分解能な観測装置の発展により、
現在、銀河における分子雲形成や星形成の研究が進展する時期にある

棒渦巻銀河における星形成



棒渦巻銀河：

領域によって環境が顕著に異なるため、
分子雲形成・進化の環境依存性を調べやすい

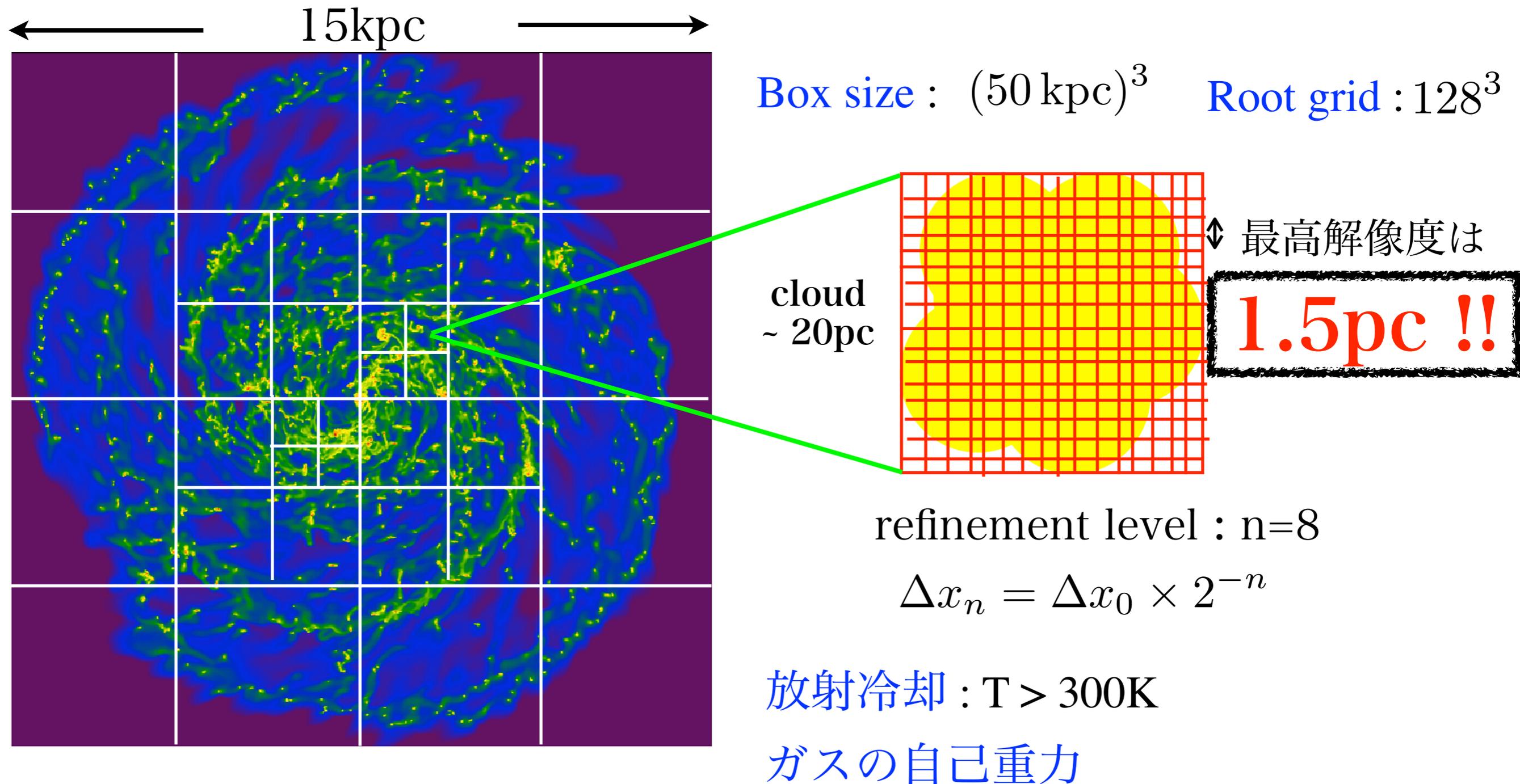
spiralやbarなどの銀河内領域によって星形成
効率が異なることが、近傍銀河の観測研究か
ら分かっている。(Momose et al. 2010)

銀河構造が分子雲形成・進化に与える影響
を調べる必要がある

>分子雲を分解できる高解像度の棒渦巻銀河シミュレーション

コード

- **Enzo** : 3次元適合格子細分化法 (AMR) (e.g. Bryan & Norman 1997)



(星形成とフィードバックを入れた計算は現在進行中)

初期条件とポテンシャル

ガス分布の初期条件

$$\rho(r, z) = \rho_0 \exp\left(-\frac{r}{2265\text{pc}}\right) \text{sech}^2\left(\frac{z}{100\text{pc}}\right) M_{\odot}/\text{pc}^3$$

↓
 観測で得られているM83の H₂ 分布を使用
 (Lundgren et al. 2004)

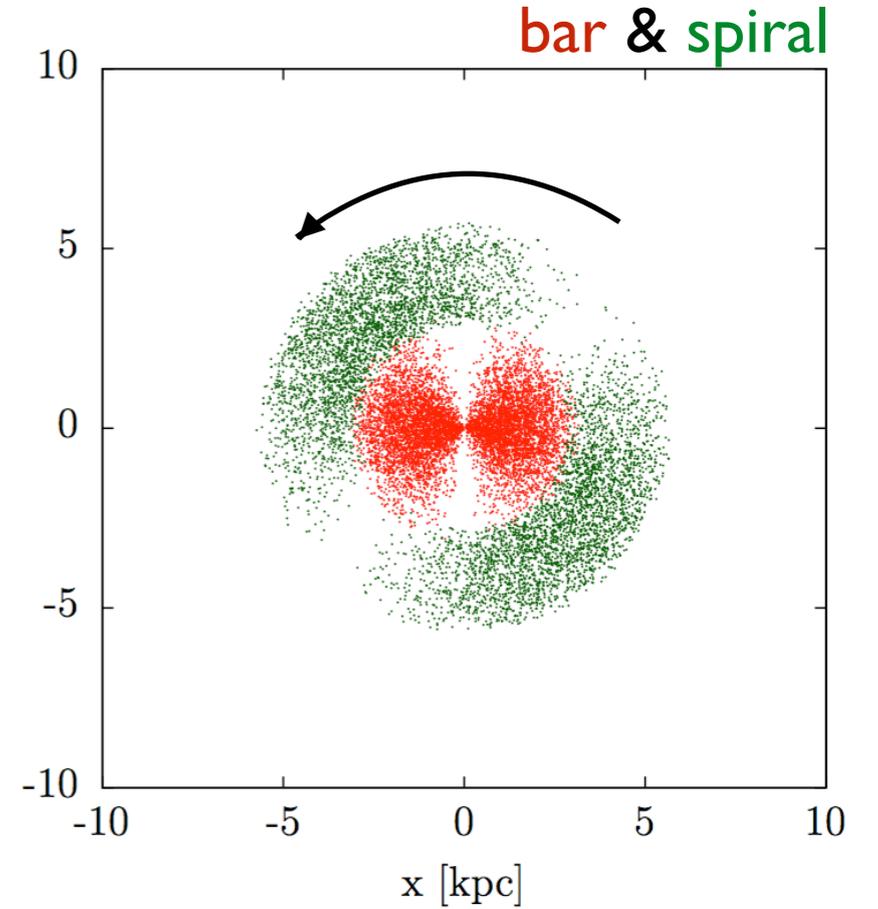
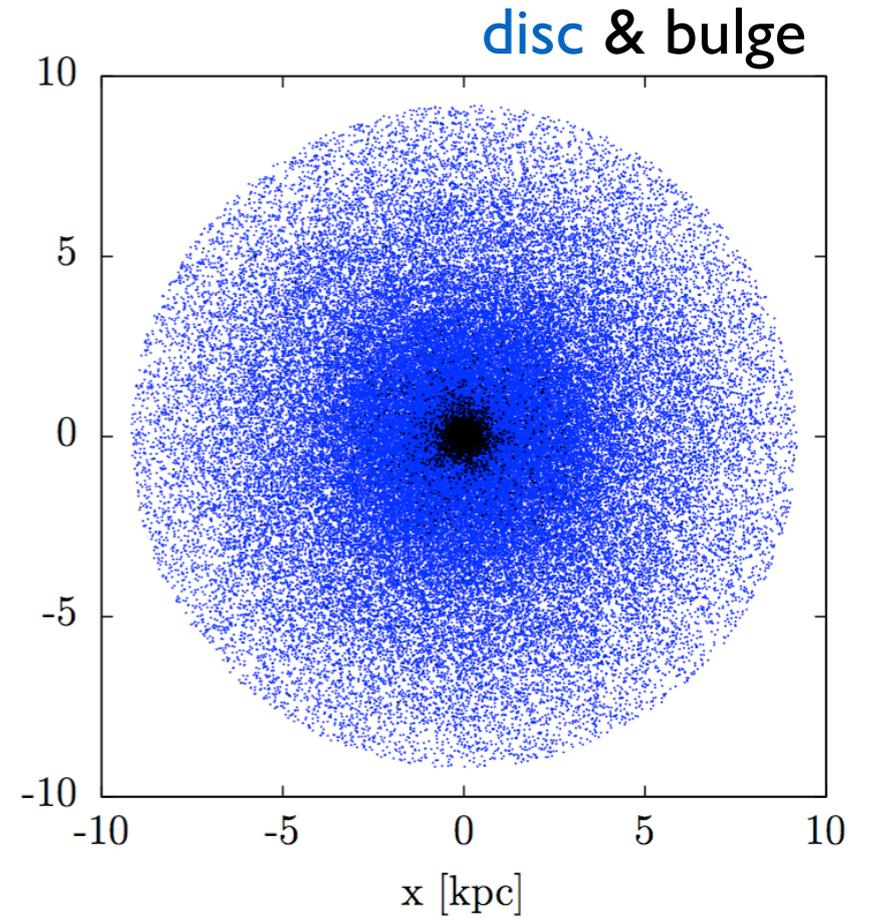
星のポテンシャル

(A. Hirota private communication)

- 10⁵個のstar particles
- 非軸対称成分のstar particleのみ、一定のパターン速度で剛体回転させる

ダークマターポテンシャル

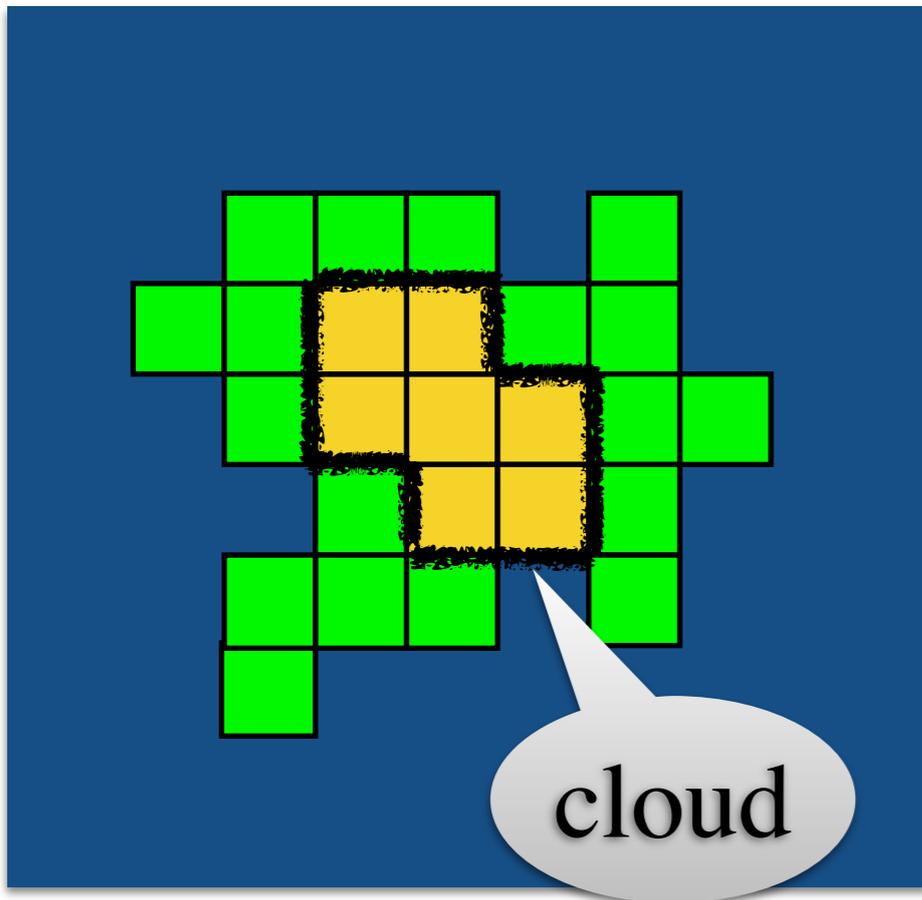
NFW profile (Navarro et al. 1997)



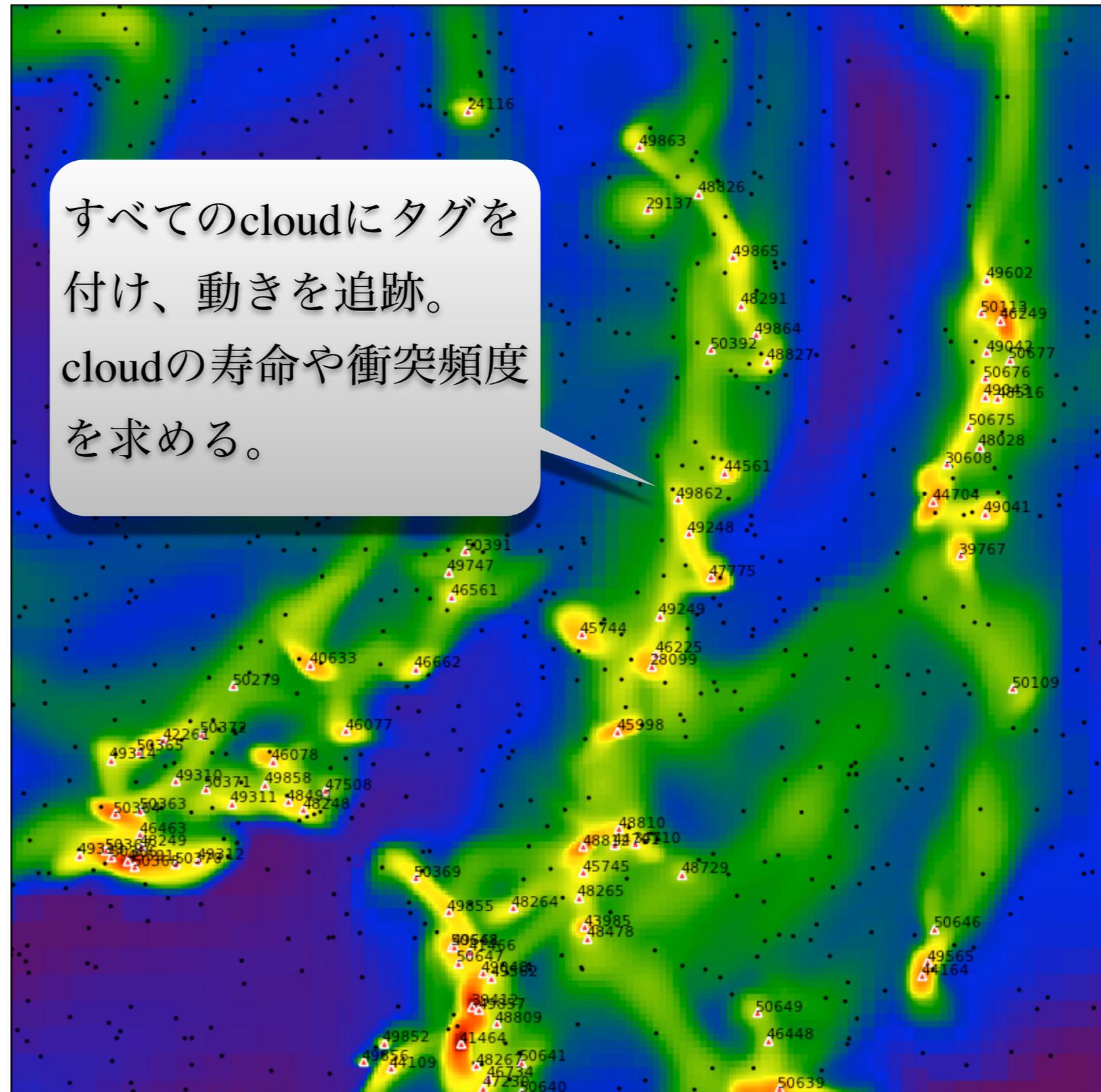
分子雲の定義と追跡

cloud : 閾値以上の密度を持つ複数のセル

$$\rho \geq 100\text{cm}^{-3}$$

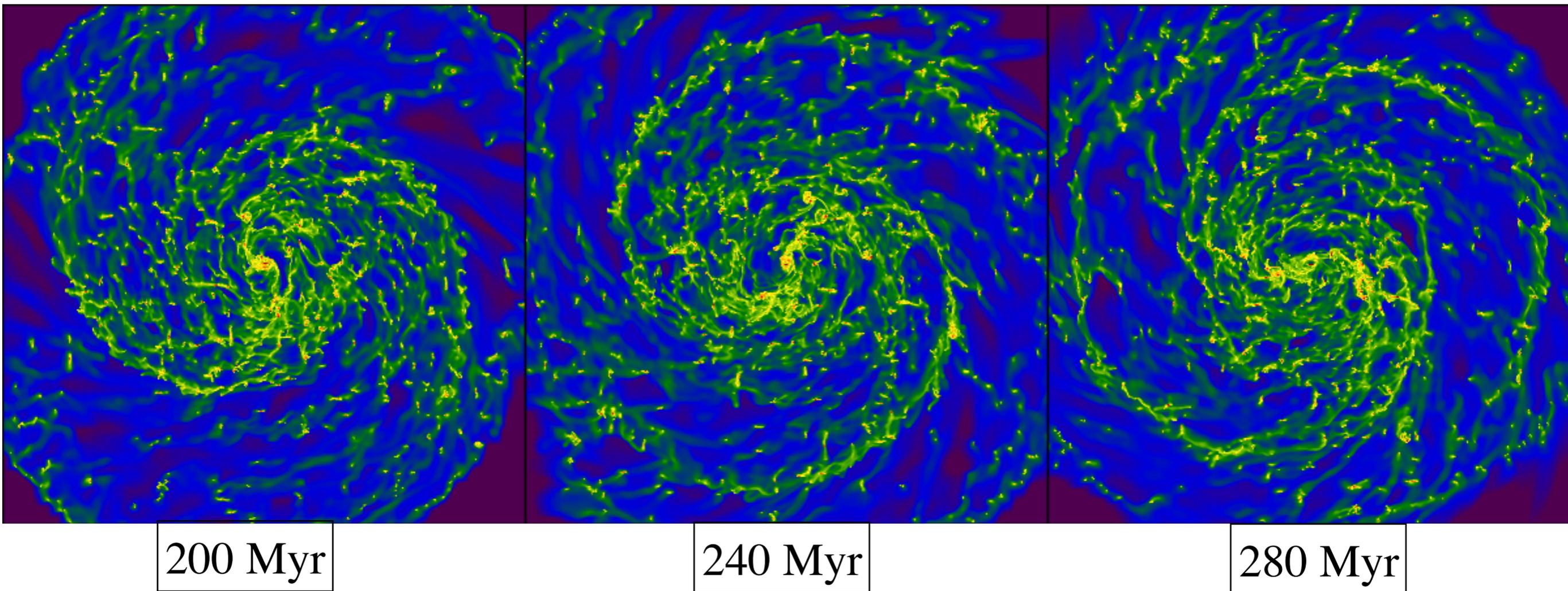


すべてのcloudにタグを付け、動きを追跡。
cloudの寿命や衝突頻度を求める。



1kpc

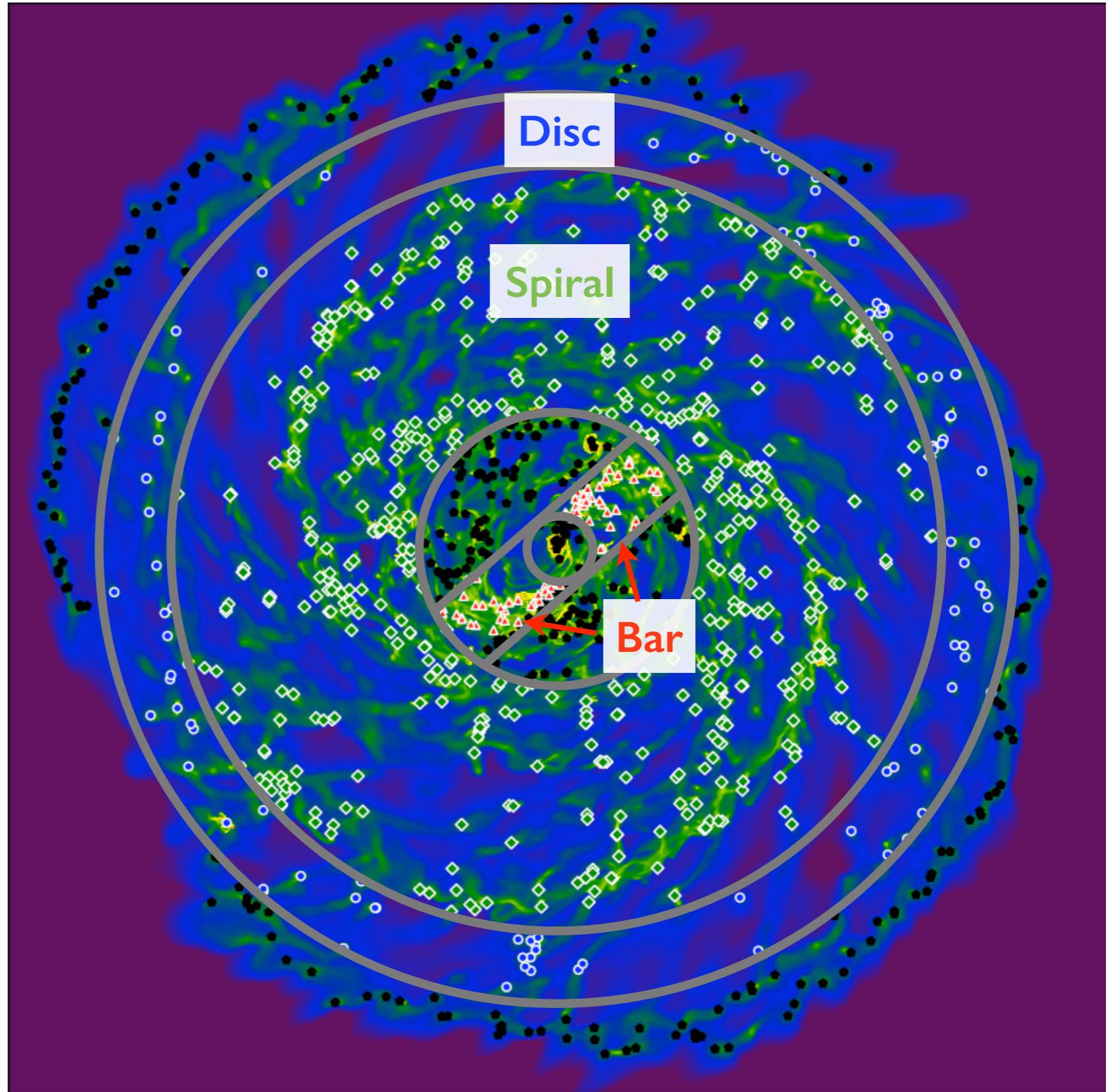
ガス円盤全体の構造と進化



- パターンの周期は ~ 120 Myr。上図では 120° ずつ回転している。
- barやspiralなどの棒渦巻銀河特有の構造を良く再現できている。
- 240Myrでのcloudの性質、200～280Myrの間のcloudの進化を解析。

銀河の領域分け

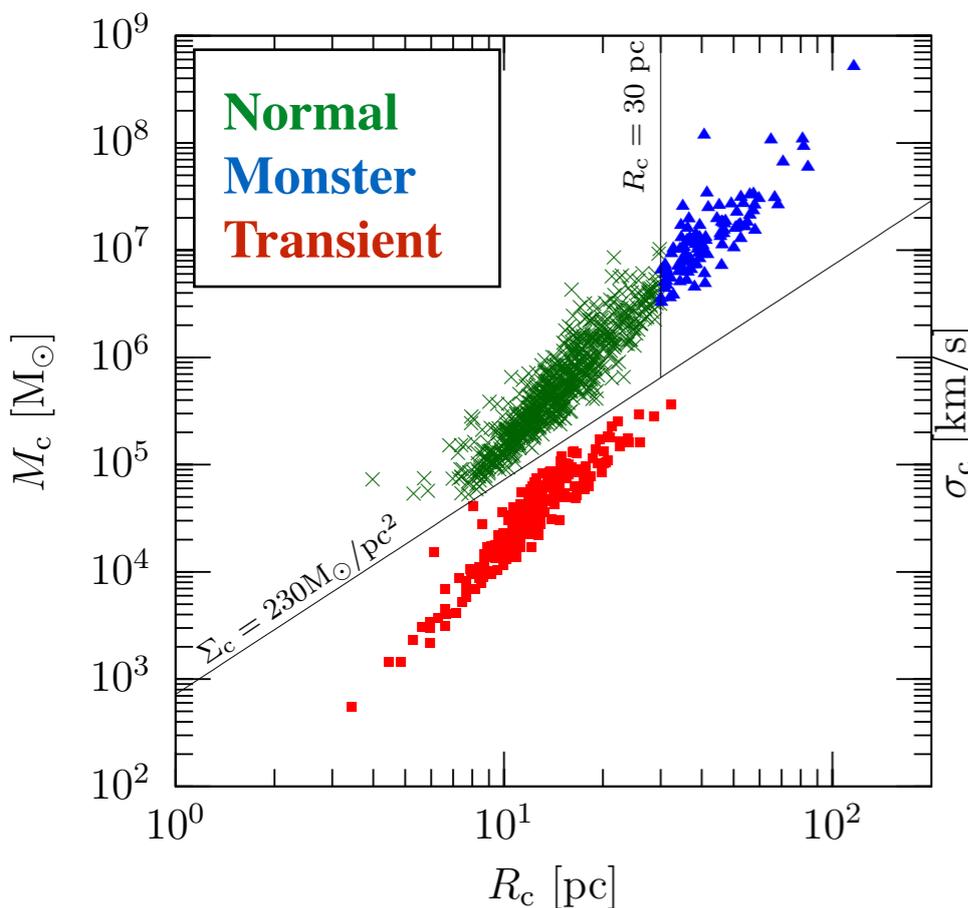
- ▶ **Bar**領域：銀河中心に形成された長方形の棒状領域
- ▶ **Spiral**領域：spiral arm 構造を含む円環領域
- ▶ **Disc**領域：Spiral領域の外側の円環領域



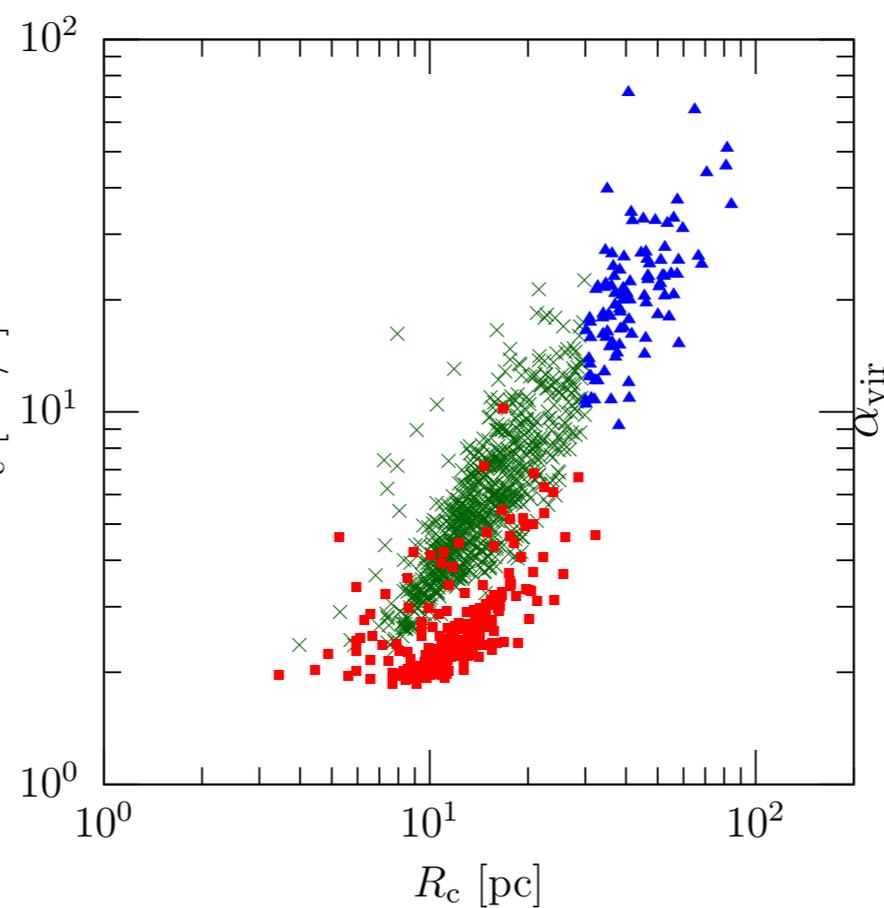
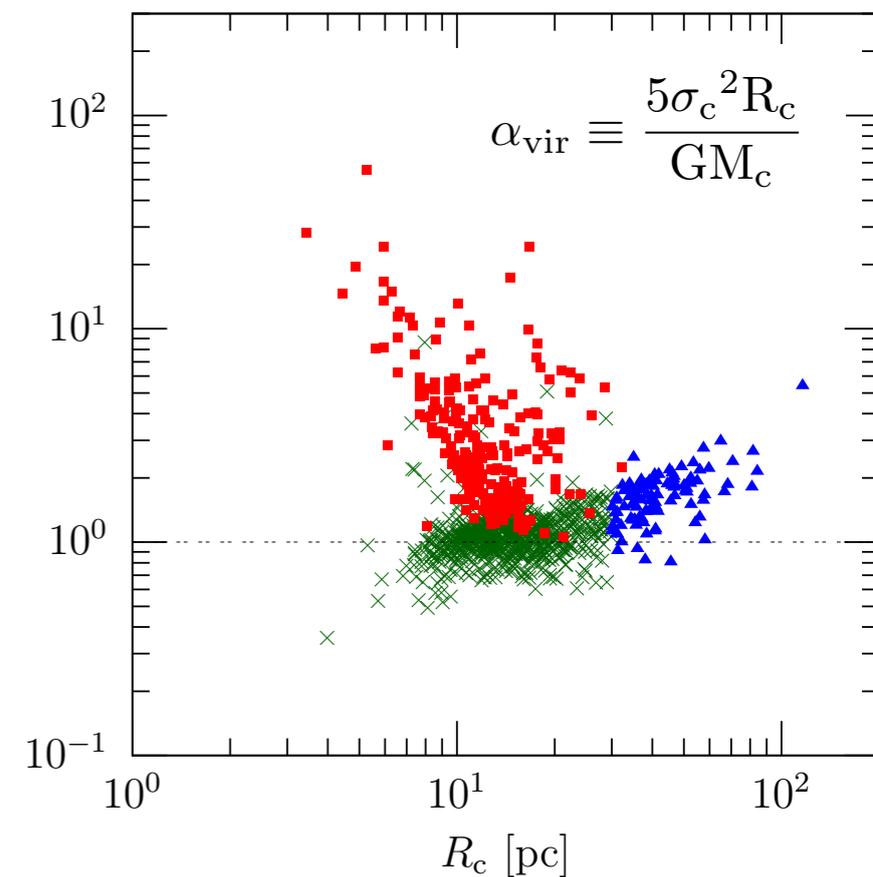
- ✓ spiral構造とinterarm構造は区別していない。spiralの形が時間とともに徐々に変化するため、定量的に分けるのが難しい。

3種類のcloud

サイズ-質量



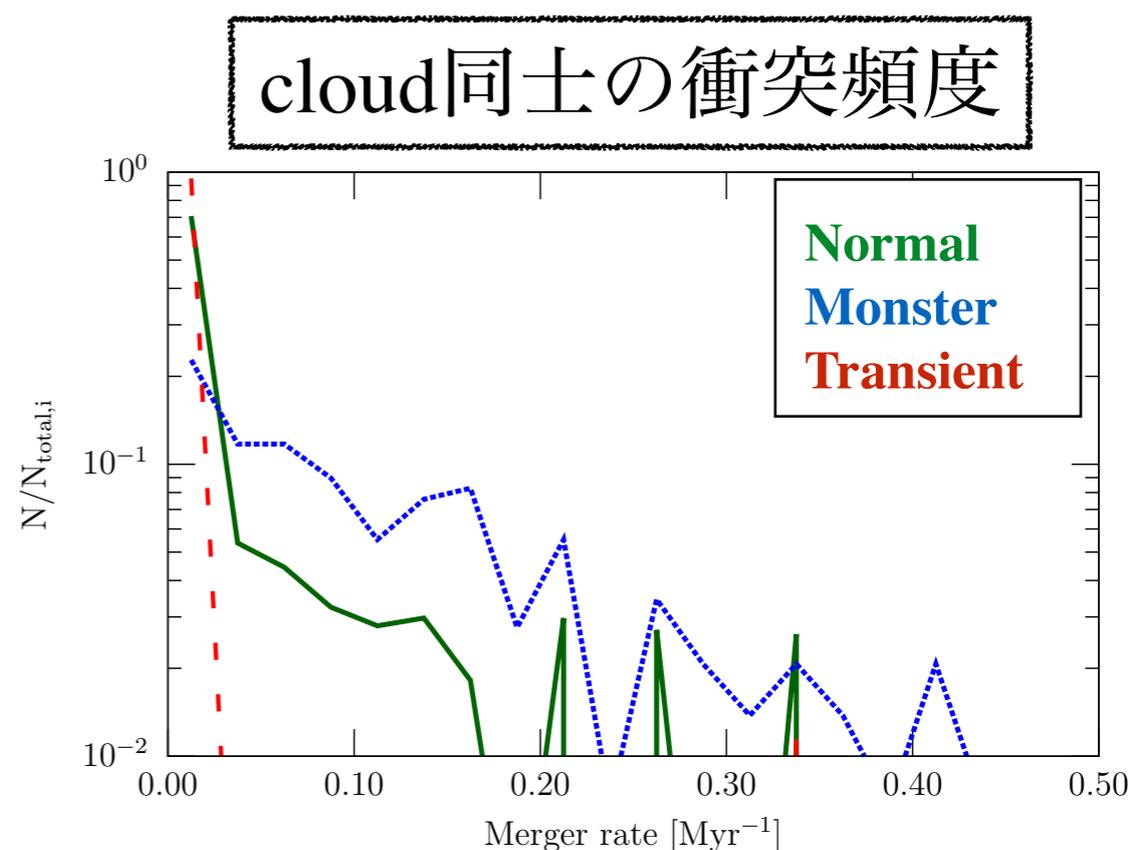
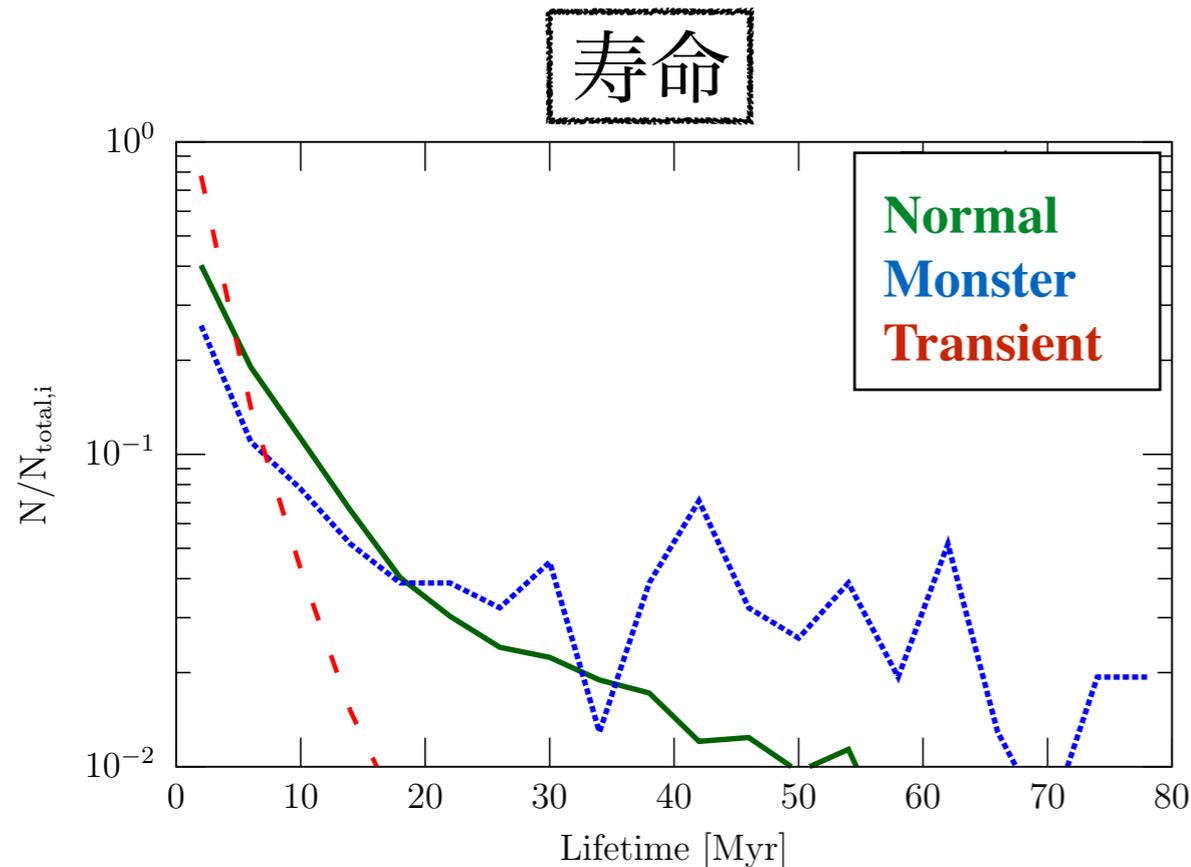
サイズ-速度分散

サイズ-ビリアル
パラメータ

❖ サイズ-質量関係を基に、cloudを3種類に分別

- ▶ **Normal**: 大多数を占める典型的なcloud。 $M_c \sim 5 \times 10^5 M_\odot$ $R_c \sim 15 \text{ pc}$ $\sigma_c \sim 6 \text{ km/s}$ $\alpha_c \sim 1$
- ▶ **Monster**: 半径30pc以上の巨大なcloud。質量、速度分散ともに大きい。
- ▶ **Transient**: 密度が $230 M_\odot/\text{pc}^2$ 以下の低密度cloud。速度分散も非常に小さい。ビリアルパラメータが大きく、ほとんど束縛されていない。

3種類のcloud



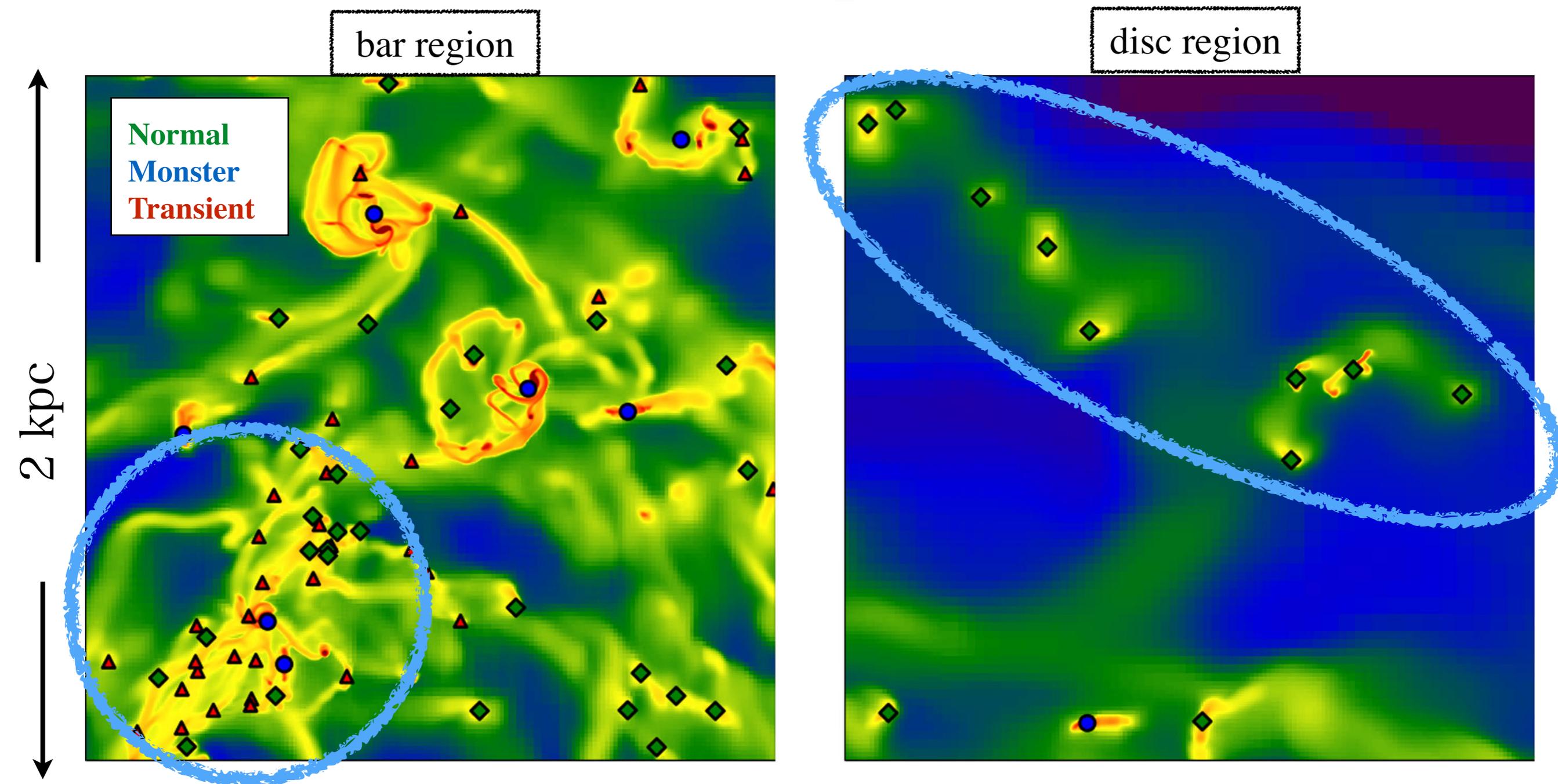
- ▶ **Monster** :
長い寿命。20 Myr以上の寿命を持つものも存在。
高い衝突頻度。0.1 [1/Myr]以上の高いものが存在する。タイムスケールに直すと10Myr以下。
- ▶ **Transient** :
短い寿命。ほとんどが10 Myr未満の短い寿命。
低い衝突頻度。ほとんどが一度も衝突しないで生涯を終える。
- ▶ **Normal** : MonsterとTransientの中間の性質。

銀河領域ごとの3種類のcloudの存在割合

	Bar	Spiral	Disc
Normal	50%	64%	83%
Monster	13%	13%	6%
Transient	38%	23%	11%

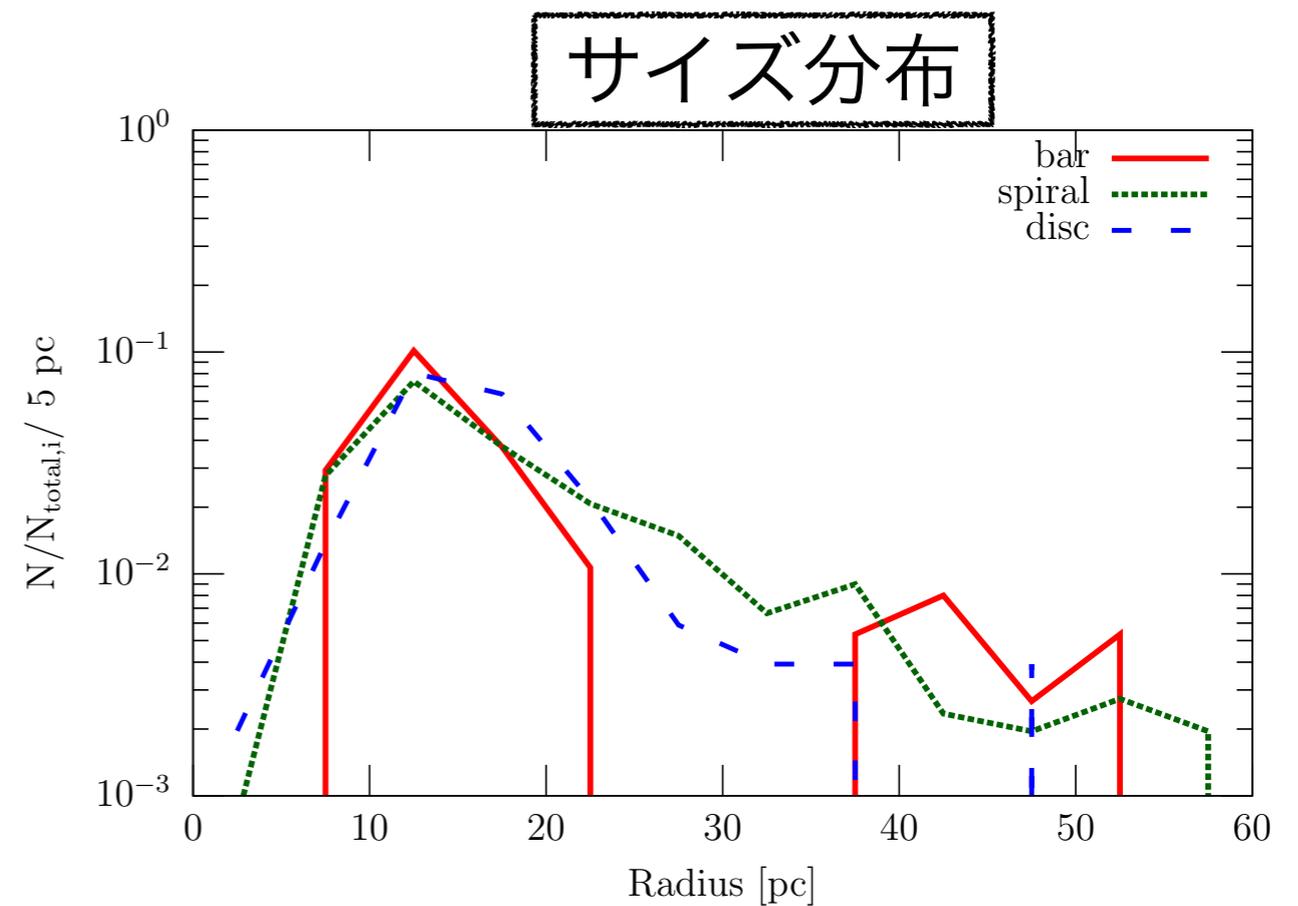
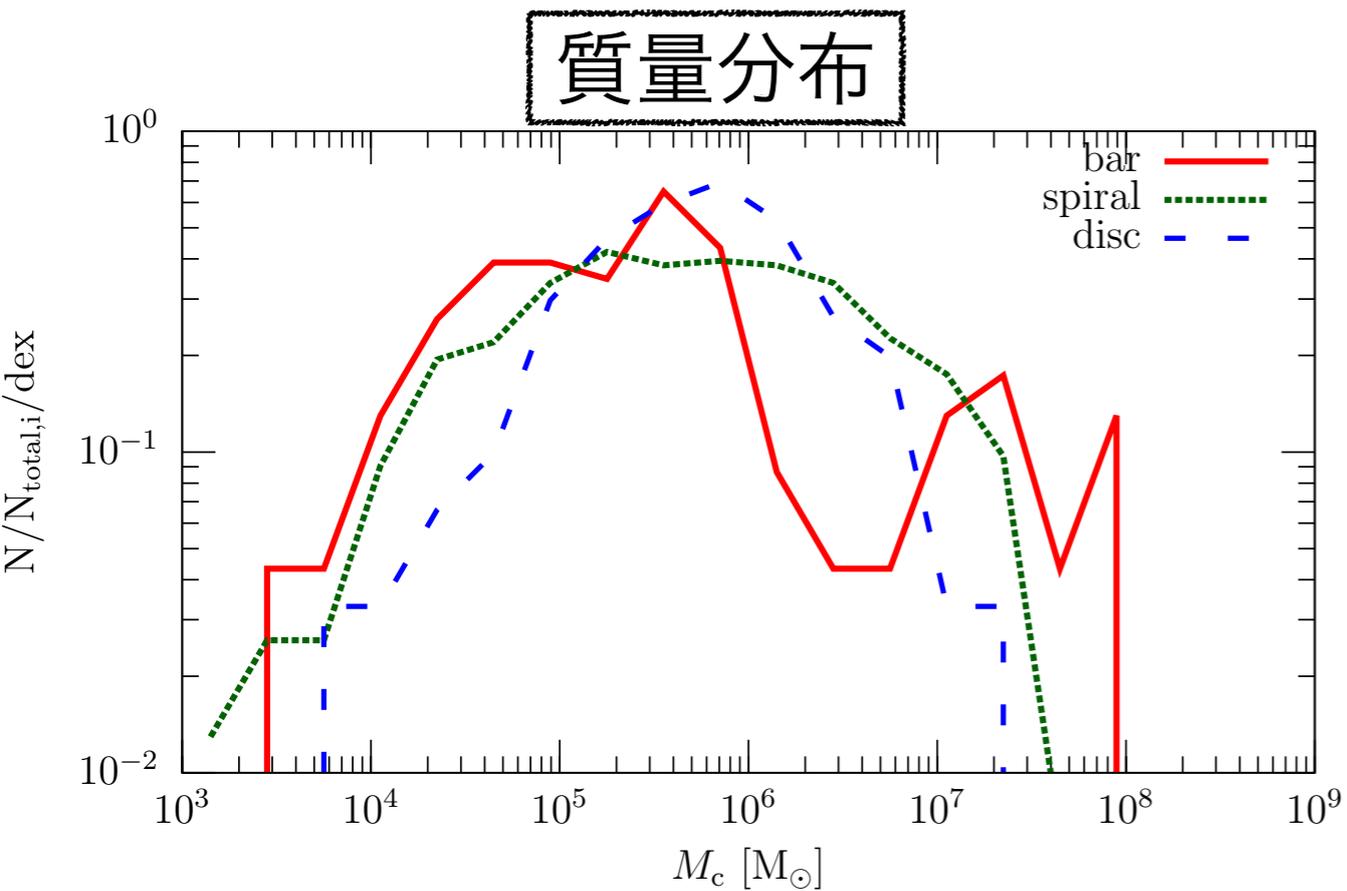
- すべての領域で、Normal cloud の割合が最も高い。
- Bar領域では他領域に比べて、MonsterとTransient cloudの割合が比較的高い。
- 一方、disc領域ではほとんどがNormal cloudである。

Visual inspection



- Bar領域ではMonster cloudを中心とした巨大なGMAが存在する。MonsterやNormal cloud同士の相互作用によってフィラメント構造が形成され、その中でTransient cloudが作られる。
- Disc領域ではNormal cloudが数珠状になって分布している。

領域ごとの分子雲の性質



- ▶ **Bar**領域：MonsterとTransientの存在量が多いので、質量、サイズともにBimodal分布になっている。広がりも大きい。
- ▶ **Disc**領域：ほとんどがNormal cloudなので、広がりが小さい。

まとめ

◎ サイズ-質量関係を用いて分子雲を3種類に分類

- Normal cloudは、大多数を占める典型的な性質を持ったcloud。
- Monster cloudは質量、サイズ、速度分散が大きい。寿命が長く、衝突頻度も高い。巨大なGMAを形成し、その中心に存在する。
- Transient cloudは密度、速度分散、ビリアルパラメータが小さい。寿命も短く、衝突頻度は低い。Monster cloudに付随して存在する。

◎ 銀河の領域ごとで、分子雲形成・進化には特徴がある

- Bar領域ではMonsterとTransientが多く存在し、Normalは5割ほど。
 - ➡ 質量分布やサイズ分布の広がりが大きく、bimodal分布になった。
- Disc領域ではNormalが8割以上を占める。
 - ➡ 質量分布やサイズ分布の広がりが小さい。
- Spiral領域はBarとDisc領域の中間の性質。

今後の課題

- 星形成とフィードバックを考慮する（現在進行中）
分子雲破壊や、周囲の星間ガスの圧縮
- 分子雲コアまで分解するような高分解能シミュレーション
大質量星を形成しうる大質量分子雲コア形成の銀河環境依存性
- ALMAやTMTなどによる、系外銀河の分子雲や星形成領域などの高分解能観測
との比較： 我々のモデル銀河M83はALMAでのターゲット天体
- 様々な銀河での分子雲形成・進化の研究
銀河内領域だけでなく、銀河の種類や時代によっても星形成活動が異なる。