初代星・初代銀河研究会2016 @ 金沢
2016年10月27日(木)

銀河間潮汐相互作用による大質量星星団 R136 の形成

佐野栄俊、柘植紀節、山本宏昭、立原研悟、福井康雄（名古屋大学）、井上剛志(国立天文台)、戸次賢治(ICRAR/西オーストラリア大学)、千葉柾司（東北大）

Outline

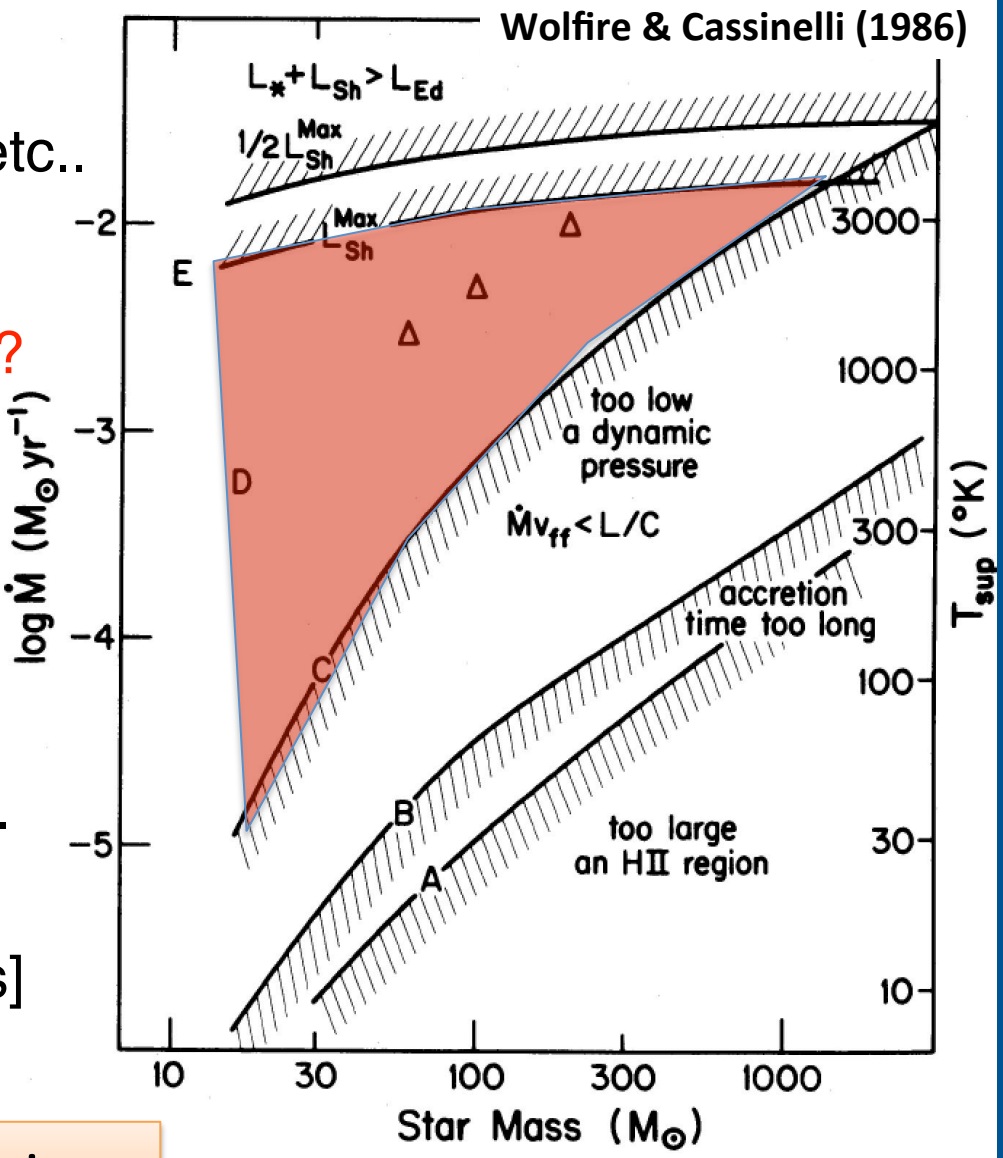
- **大質量星形成と分子雲衝突**
  - 大質量星形成の諸問題
  - 分子雲衝突（Cloud-Cloud Collision）の理論モデルと観測例
- **大質量星団 R136**
  - 星団の特徴
  - 先行研究（LMC-SMC 相互作用、D- & L-components）
- **解析結果**
  - D- & L-components の分離と空間分布
  - 速度構造
  - 低金属量ガスの流入
- **まとめと今後**
  - 数値計算と他天体への適用

Formation of the O-type Stars

- Stars having more than 20 $M_\odot$
- Staller wind, strong UV, SNe, etc..

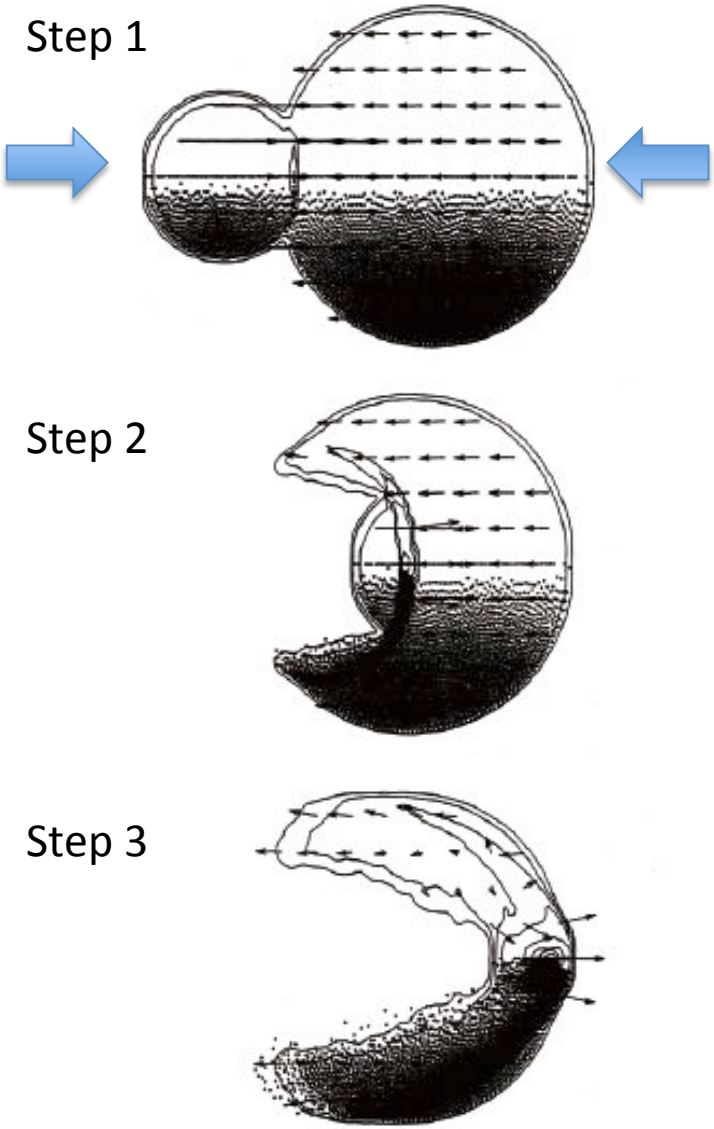
However, it is not known
how the O-type stars are formed?

- Observational issues
  - few, distant from us etc..
- Theoretical issues
  - large mass accretion rate etc.
    ~ 10^{-4}–10^{-3} $M_\odot$/yr
    [~10^{-6} $M_\odot$/yr for low-mass stars]

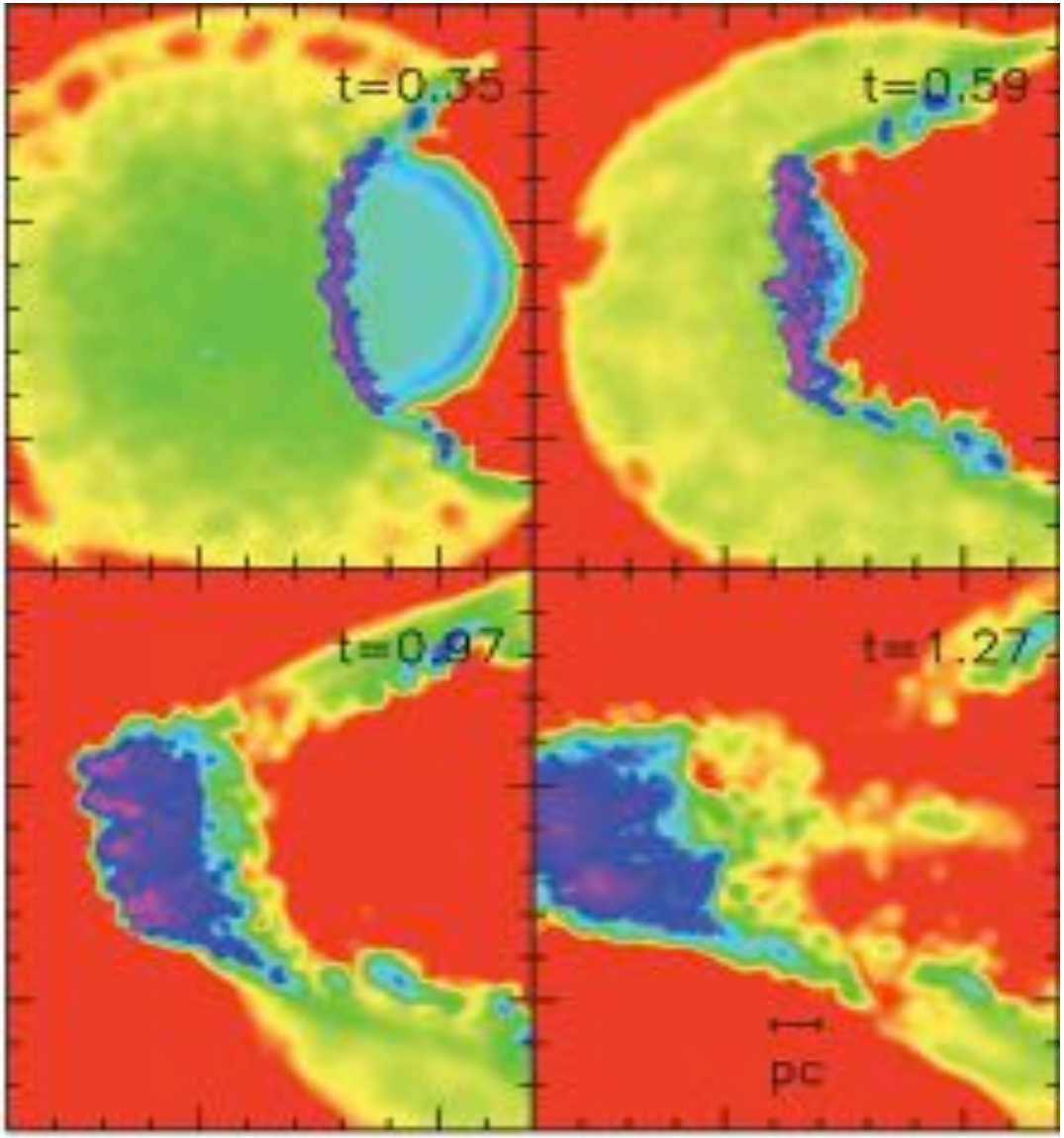


We need some triggering mechanisms

Numerical Simulations of the Cloud-Cloud Collisions



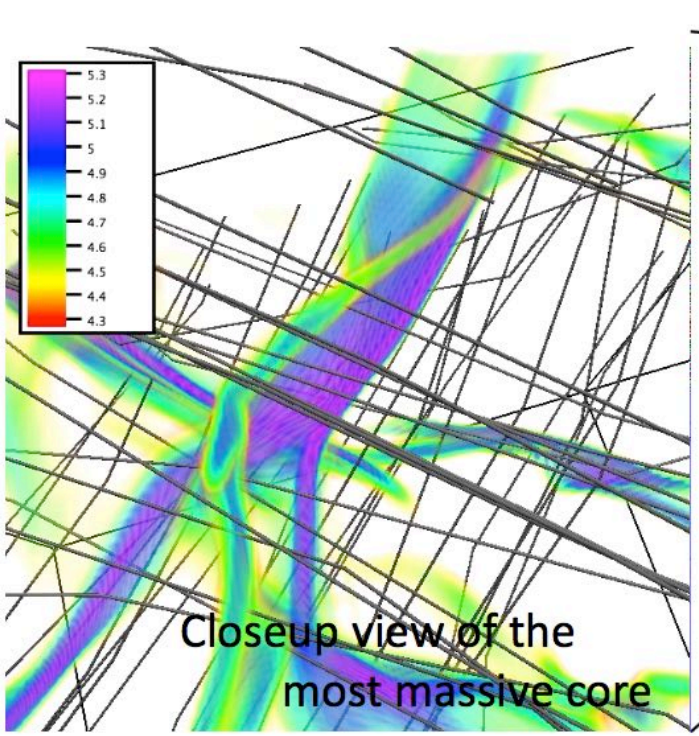
Habe & Ohta 92

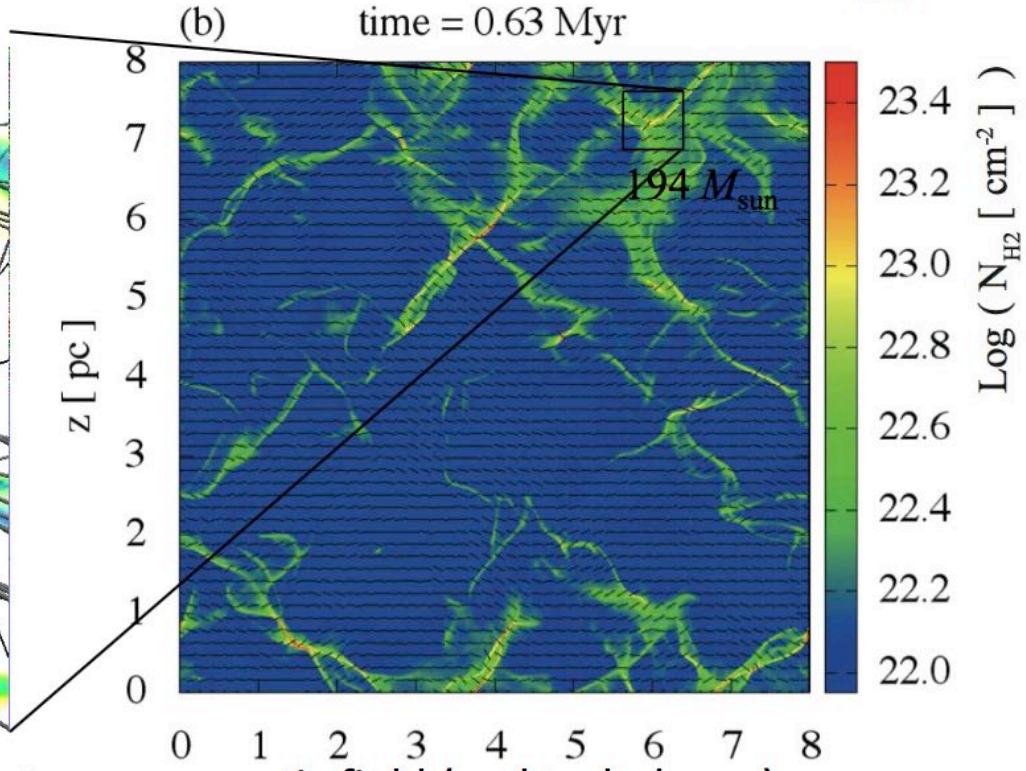


Anathpindika+12

Numerical Simulations of the Cloud-Cloud Collisions

- Massive, gravitationally bound core with $M = 194\ M_{\rm sun}$ is formed at t = 0.63 Myr.
  - The massive core is embedded in network of massive filaments with M ~ 10^3 $M_{\rm sun}$





- Large effective Jeans mass is due to strong magnetic field (and turbulence).

$$M_{\rm J,eff} \approx (c_s^3 + c_A^3 + \Delta v^3)/(G^{3/2}\rho^{1/2}) \qquad c_s^3 : c_A^3 : \Delta v^3 = 1 : 333 : 196$$

$|B| = 280\ \mu$G,
$\Delta v = 1.2$ km/s,
$\langle n \rangle = 0.8 \times 10^5\ {\rm cm}^{-3}$

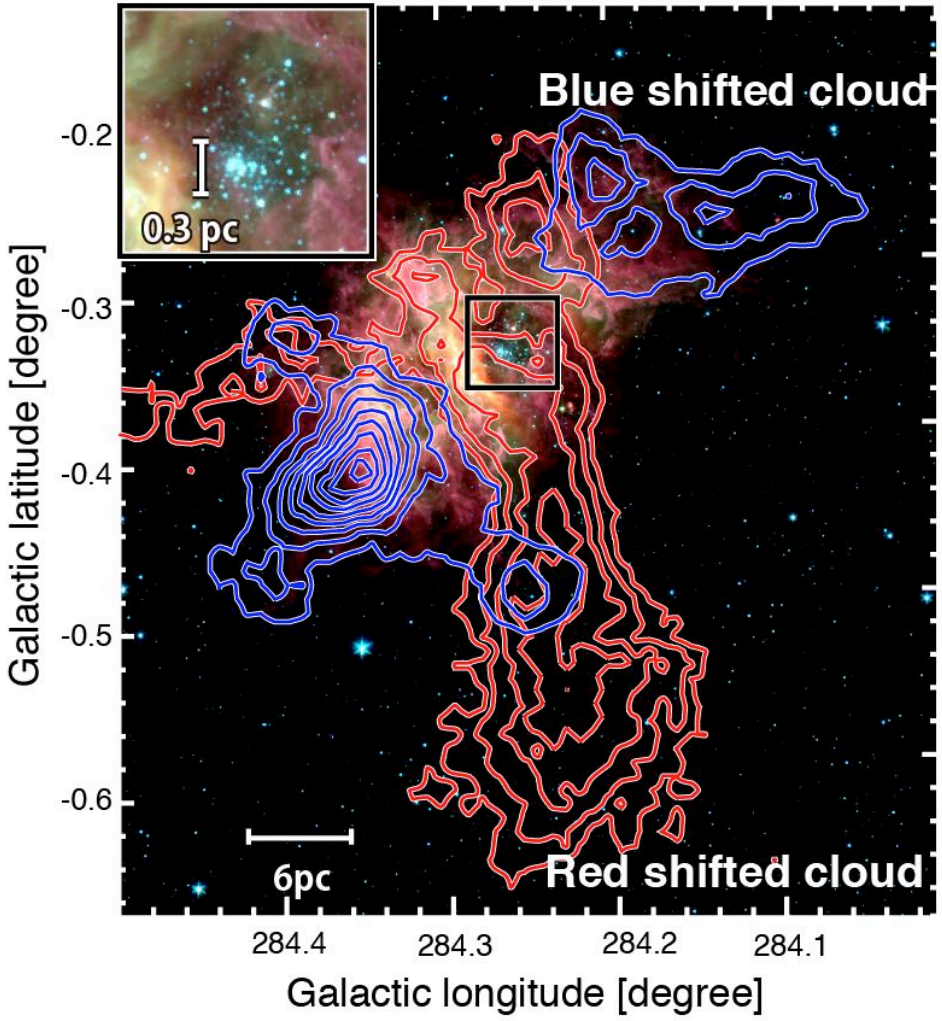
→ Large mass accretion rate: $dM/dt \approx (c_s^3 + c_A^3 + \Delta v^3)/G$

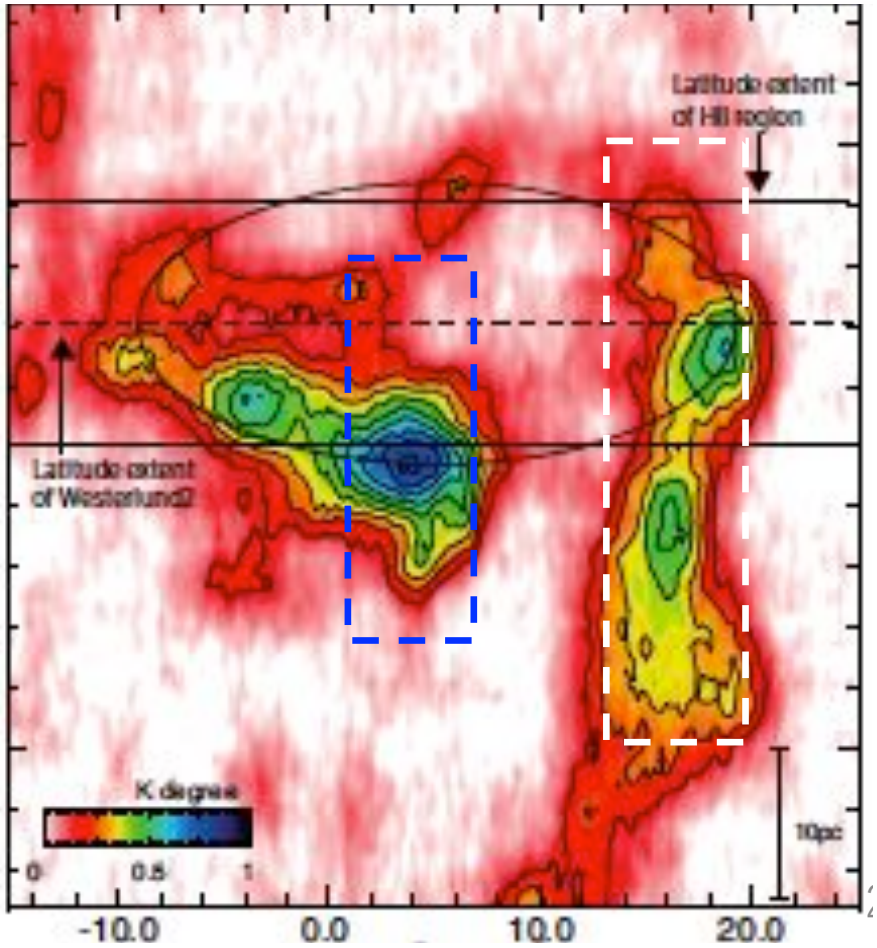
$= 4 \times 10^{-3}\ M_{\rm sun}/{\rm yr}$

Inoue & Fukui 13, ApJL

courtesy by Inoue-san

Observational Evidence (e.g., SSC Westerlund 2)

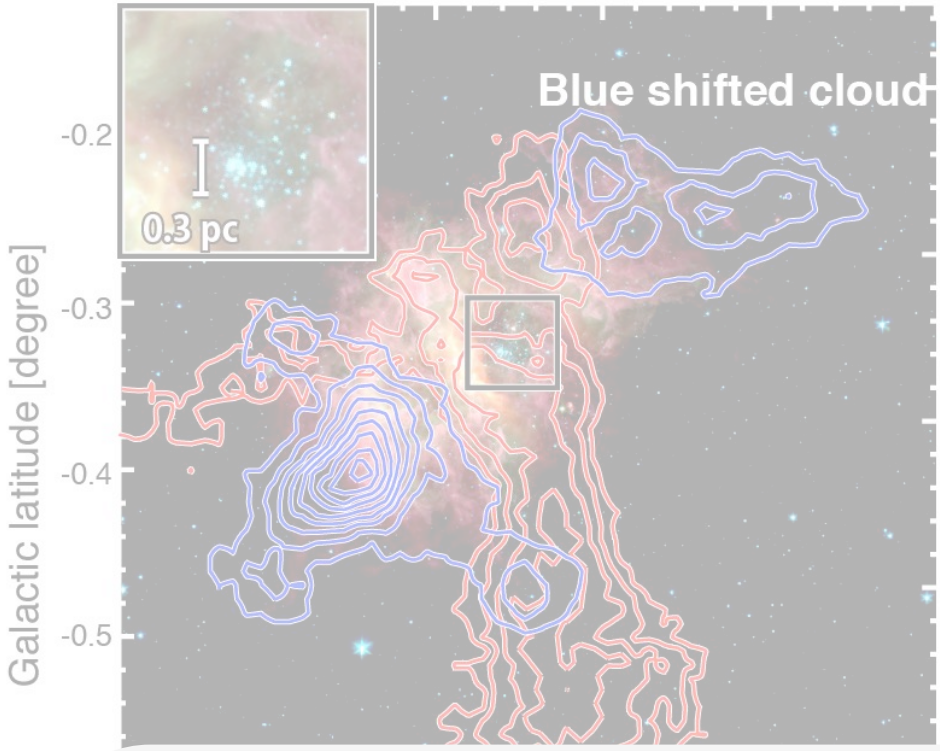


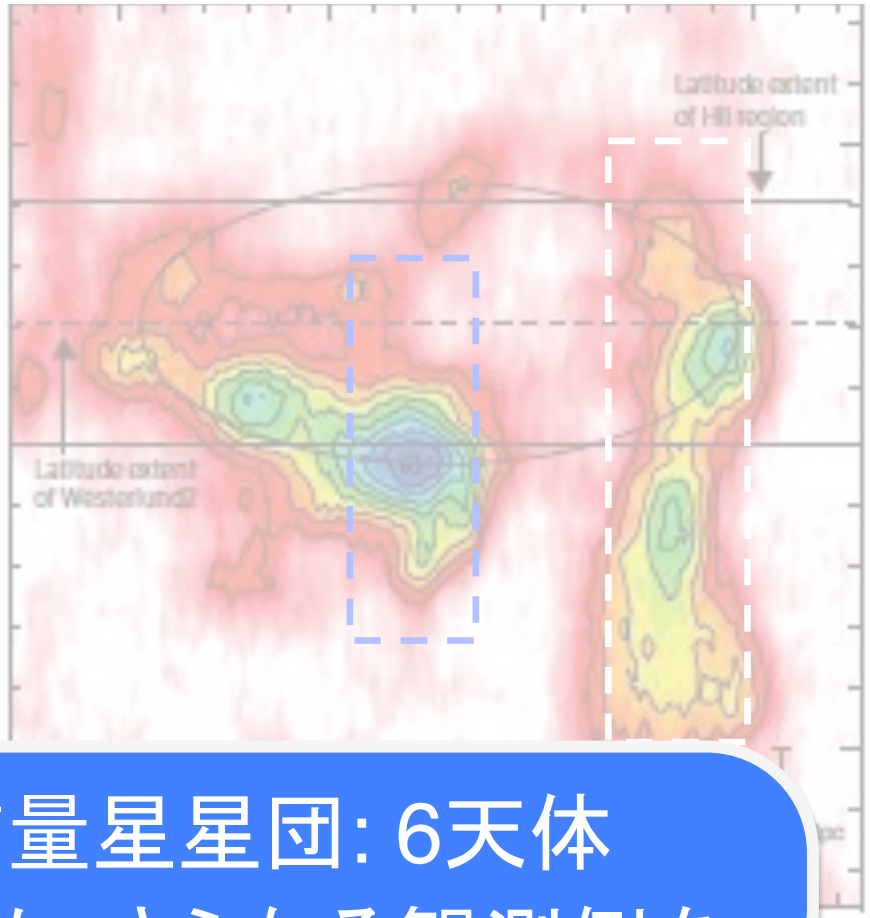


Furukawa+09

- 相補的な分子雲分布、2つの分子雲をつなぐ中間速度構造
- 速度差 20 km/s 以上（重力的束縛不可、フィードバックでも説明不可）

Observational Evidence (e.g., SSC Westerlund 2)

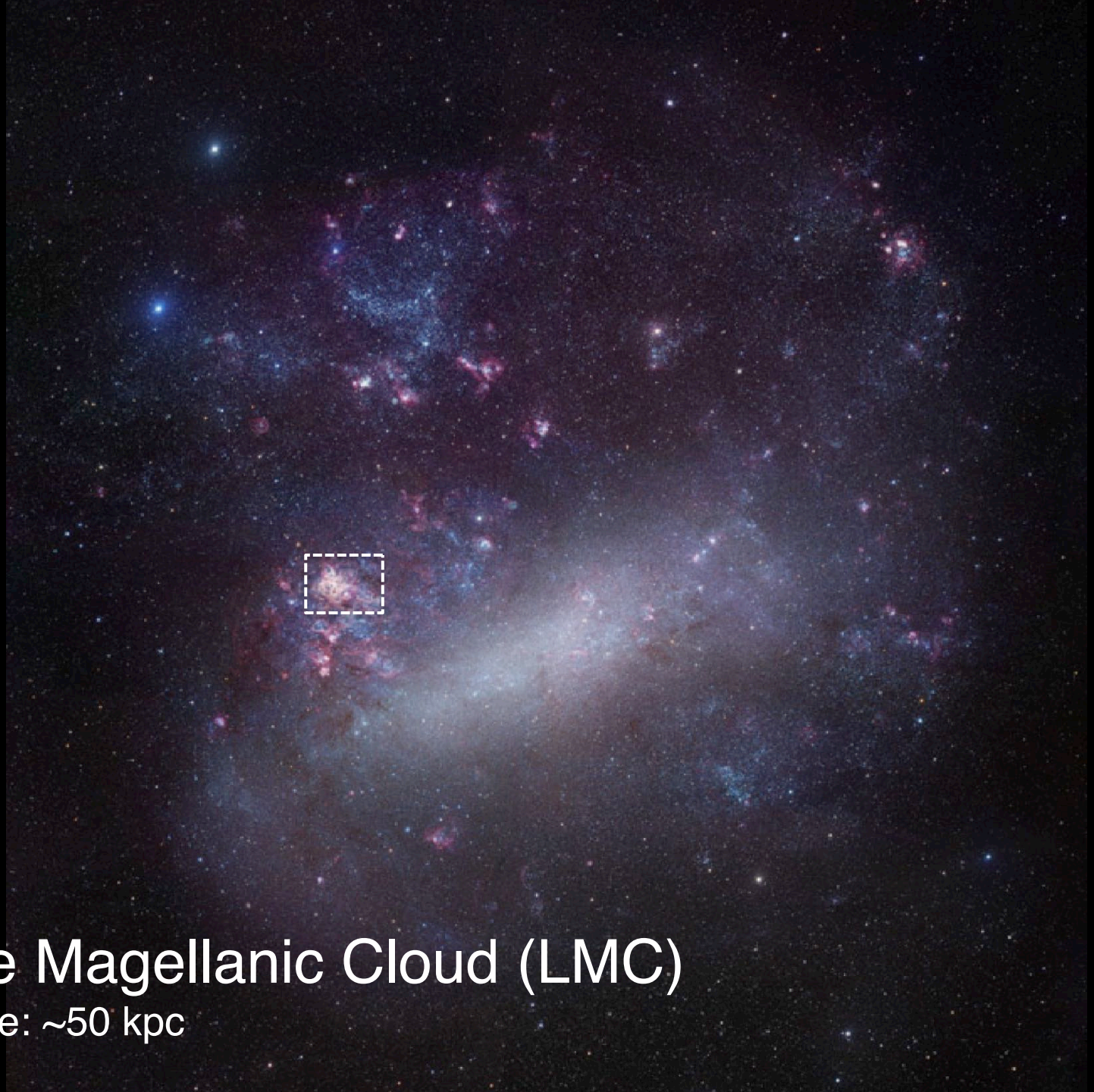




SSC: 4天体 ＋ 大質量星星団: 6天体
現象の普遍性を探るため、さらなる観測例を

Furukawa+09

- 相補的な分子雲分布、2つの分子雲をつなぐ中間速度構造
- 速度差 20 km/s 以上（重力的束縛不可、フィードバックでも説明不可）

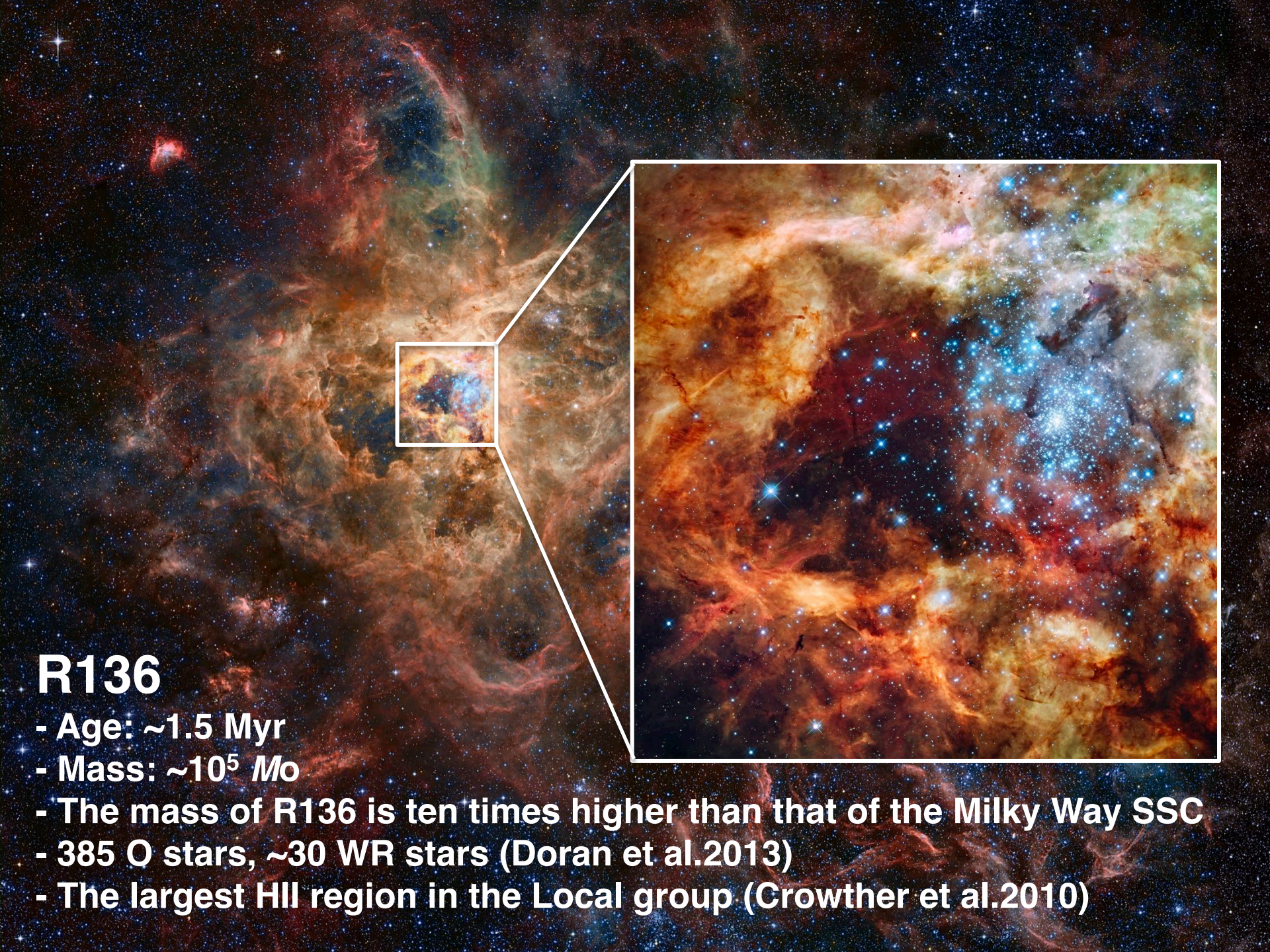


Large Magellanic Cloud (LMC)

Distance: ~50 kpc

R136

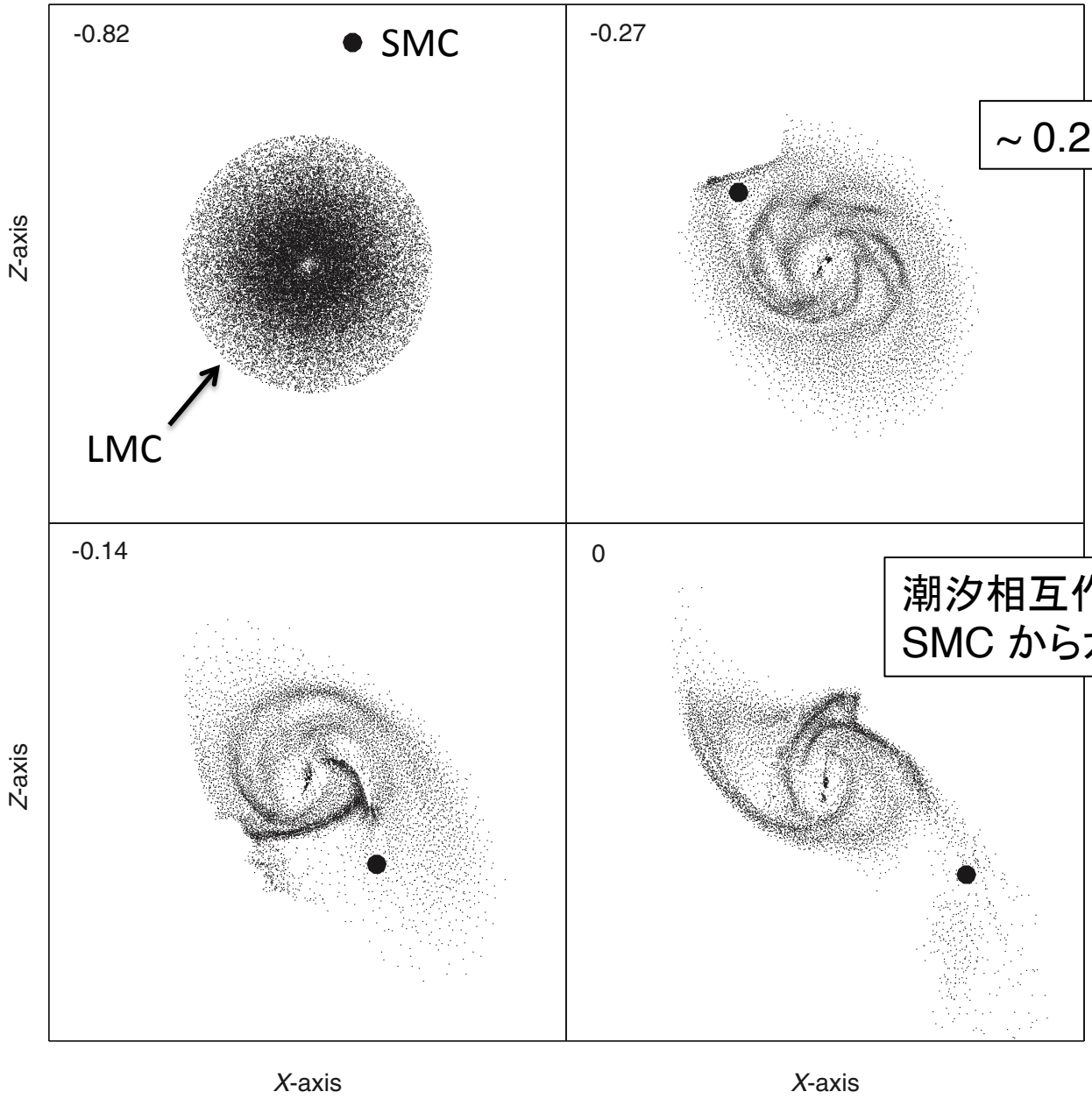
- Age: ~1.5 Myr
- Mass: ~10^5 *Mo*
- The mass of R136 is ten times higher than that of the Milky Way SSC
- 385 O stars, ~30 WR stars (Doran et al.2013)
- The largest HII region in the Local group (Crowther et al.2010)



R136

- Age: ~1.5 Myr
- Mass: ~10^5 *Mo*
- The mass of R136 is ten times higher than that of the Milky Way SSC
- 385 O stars, ~30 WR stars (Doran et al.2013)
- The largest HII region in the Local group (Crowther et al.2010)

Previous Study: Tidal interaction between the LMC & SMC



～0.2 Gyr 前に近接相互作用

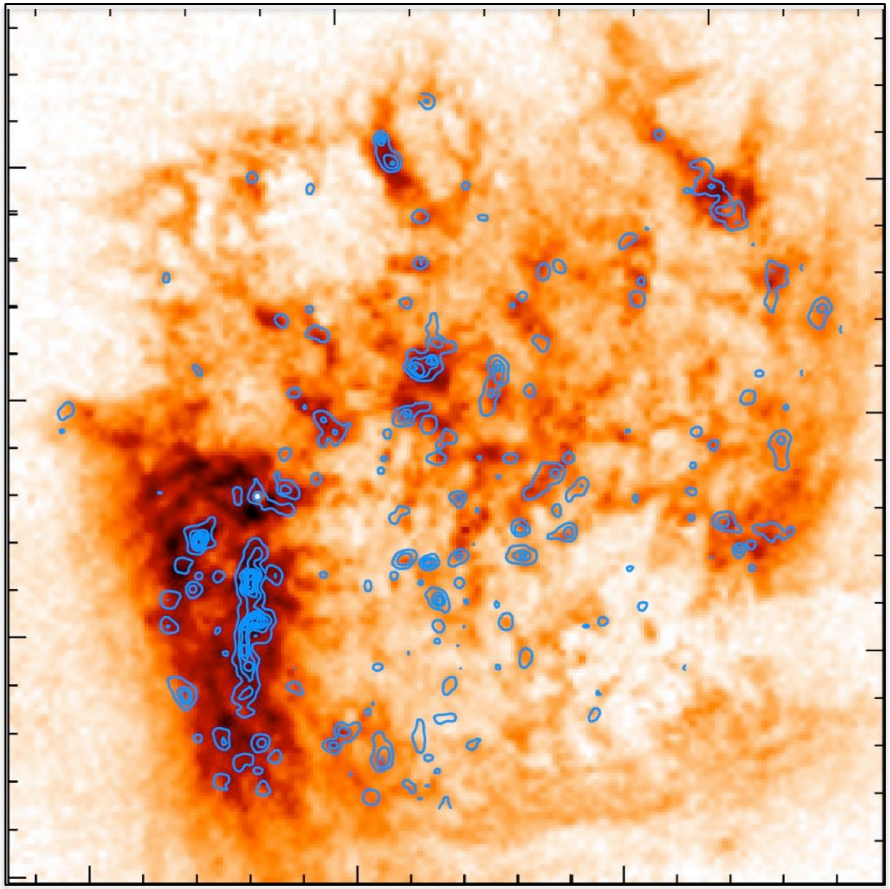
潮汐相互作用によりガスが乱される
SMC からガスの流入も？

e.g.,
Murai & Fujimoto 80
Fujimoto & Murai 84
Fujimoto & Noguchi 90

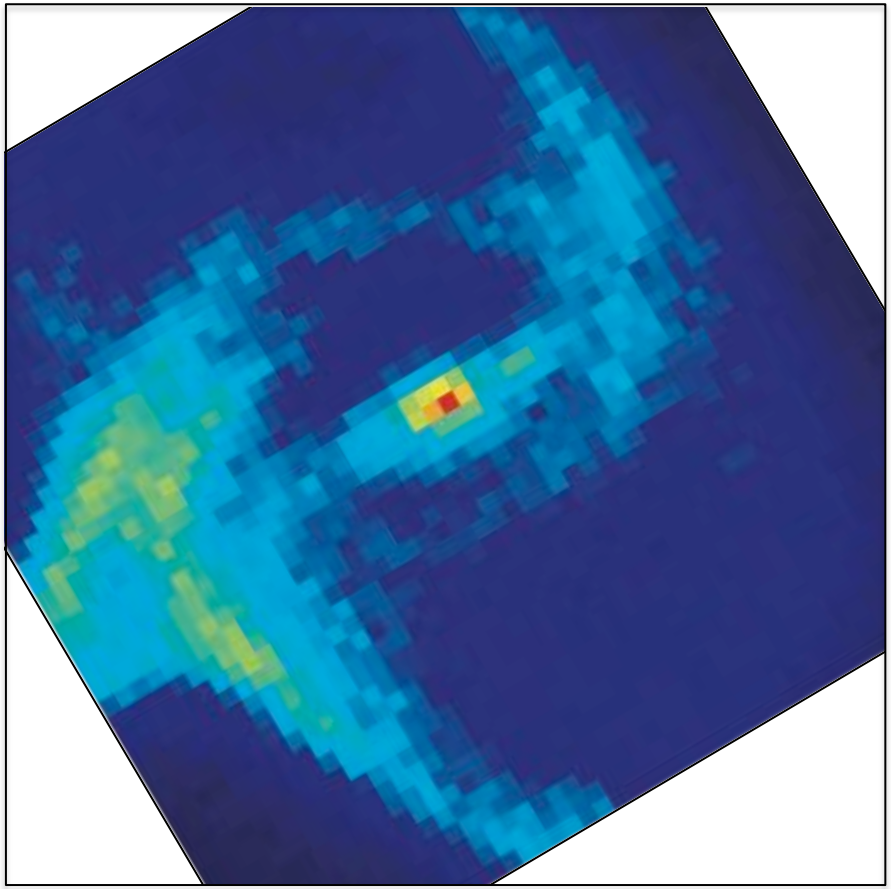
Bekki & Chiba 07

Previous Study: Tidal interaction between the LMC & SMC

観測結果（イメージ HI, コントア: CO）



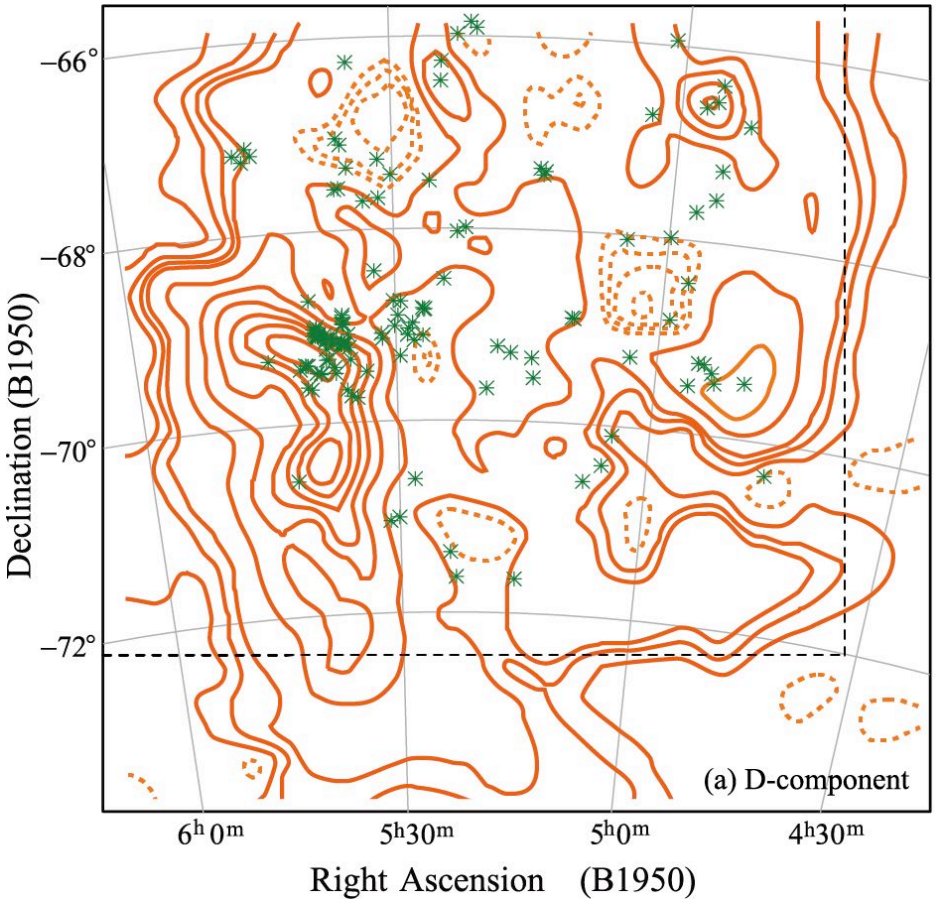
数値計算結果（ガス表面密度分布）



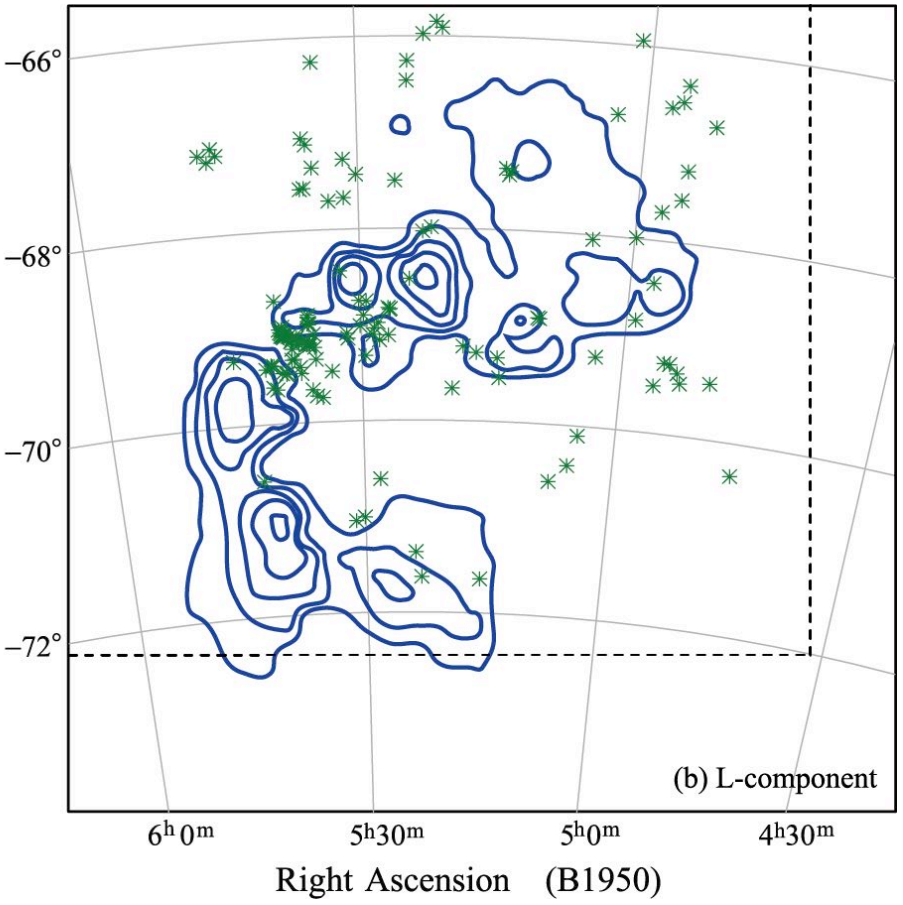
- 観測で見られている、非対称なガス分布を再現 (Bekki & Chiba 07)
  星形成も局所的に活発化する
- R136 の形成にも関連しているのでは？

Previous Study: L- & D-components

D-component



L-component



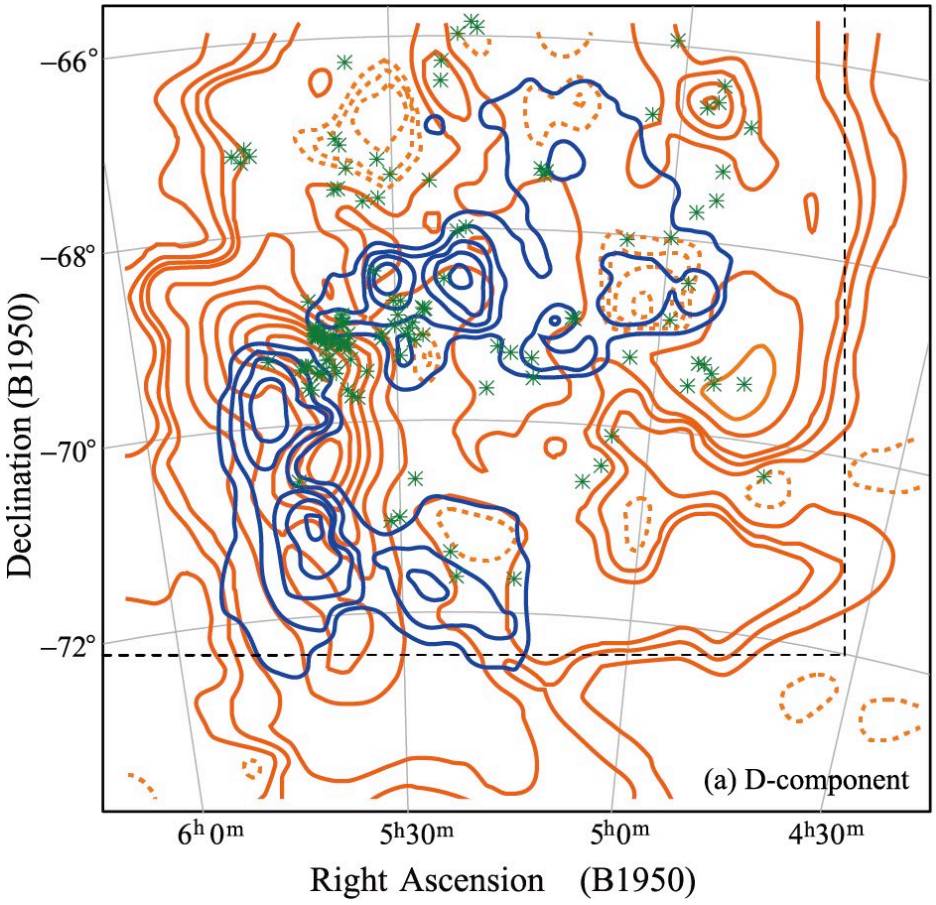
Green: WR-stars

Luks & Rohlfs (1992), Mizuno et al. (2001)

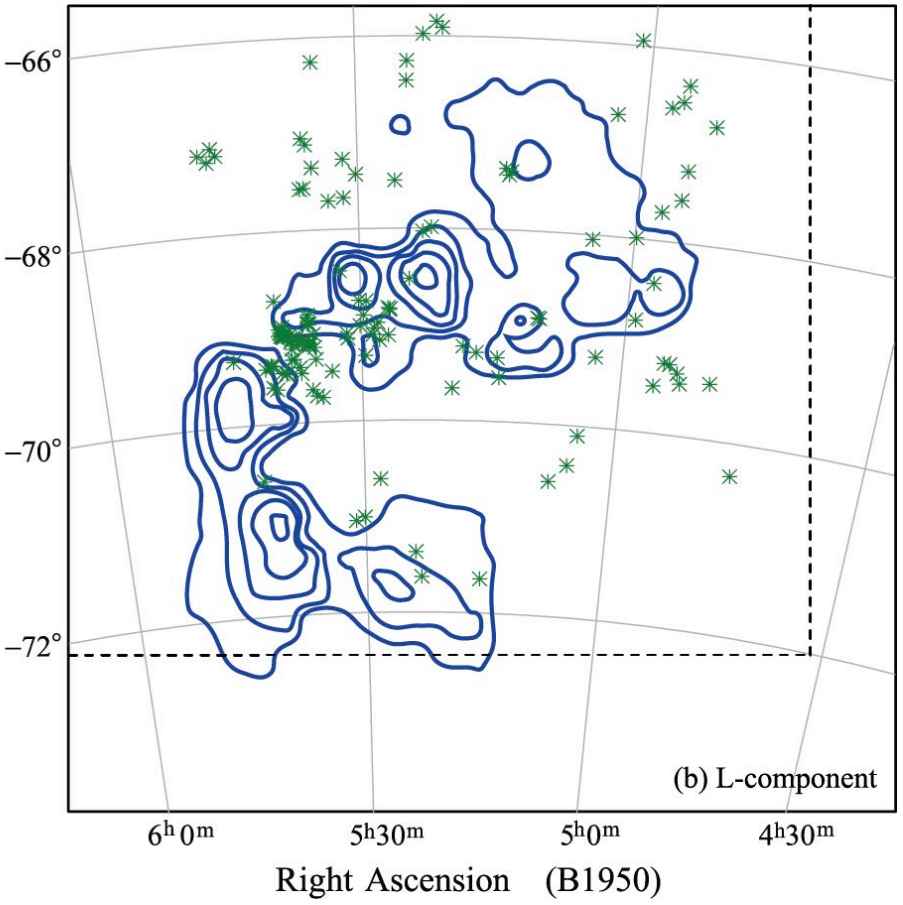
- Disk 成分の他に、低速度のHIガスが存在している。

Previous Study: L- & D-components

D-component



L-component



Green: WR-stars

Luks & Rohlfs (1992), Mizuno et al. (2001)

- Disk 成分の他に、低速度のHIガスが存在している。
- 相補的な分布、その周辺にWR星が集中している？ → CCC ？

Scientific Purpose

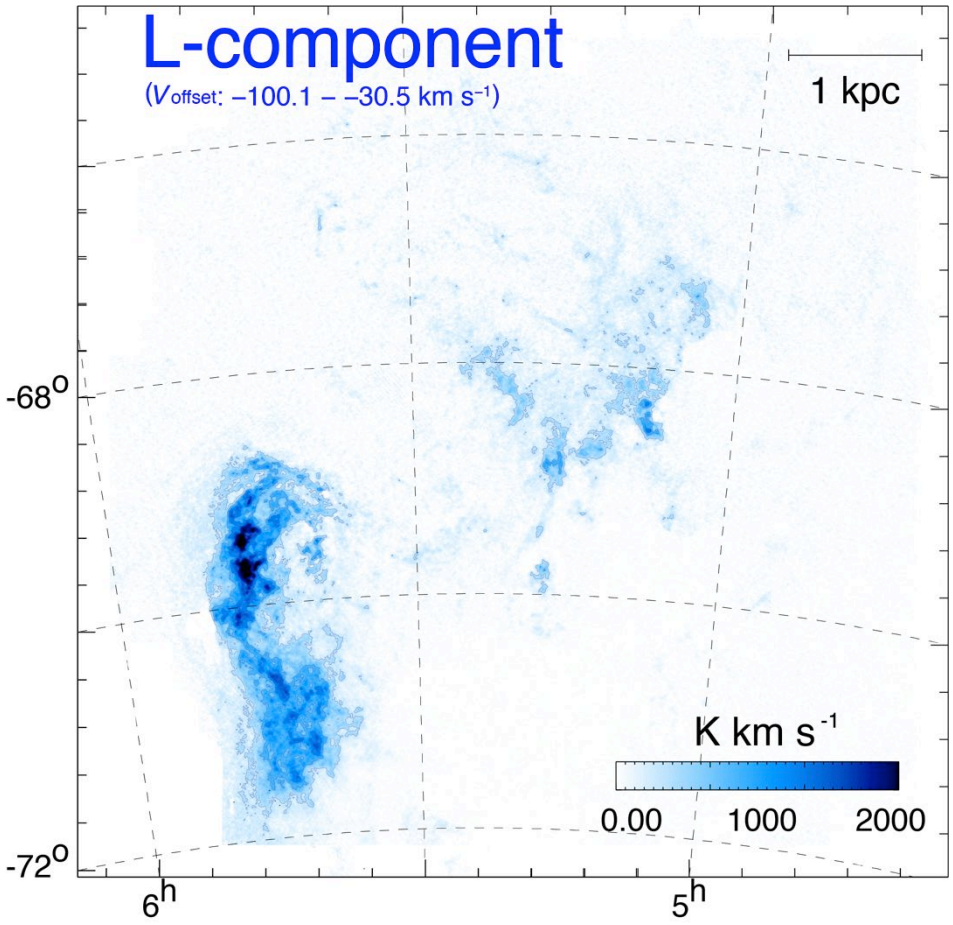
■ より高分解能なHIデータを用いて L- & D-components を分離・検証し、多波長との比較を通して、R136 形成との関連を探る

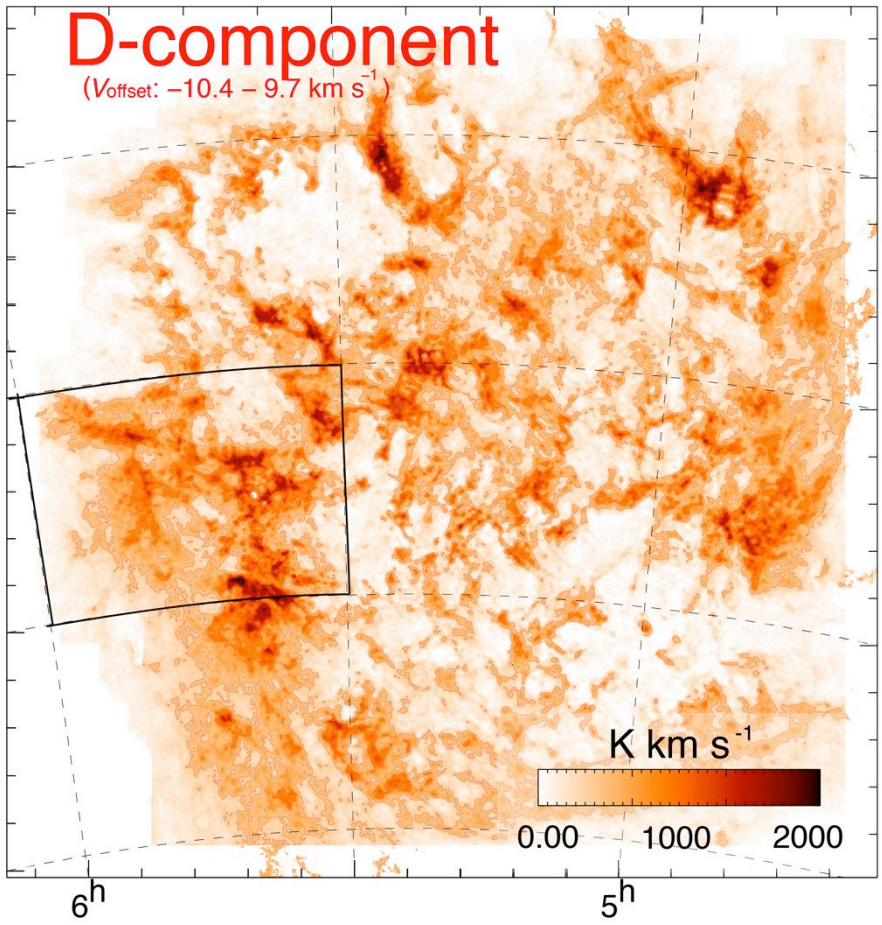
	Past work	This work !
望遠鏡	Parkes望遠鏡	ATCA & Parkes
輝線	HI (21 cm線)	HI (21 cm線)
角度分解能	15’	1’.0
空間分解能 [pc]	~220	~15
速度分解能 [km s^{-1}]	1.649	1.649
引用論文	Luks & Rolfs 1992	Kim et al. 2003

10倍以上空間分解能が良い

全てのDisk(回転速度)成分が0km/sになるようにrotation velocityを差し引いたデータを用いた。

Separation of L- & D-components





- 過去の研究とコンシステントな結果
- 低速度成分は、ディスク成分よりも ~ −50 km s^{-1} 速度がずれている

銀河間相互作用による星形成についてのよくある反論

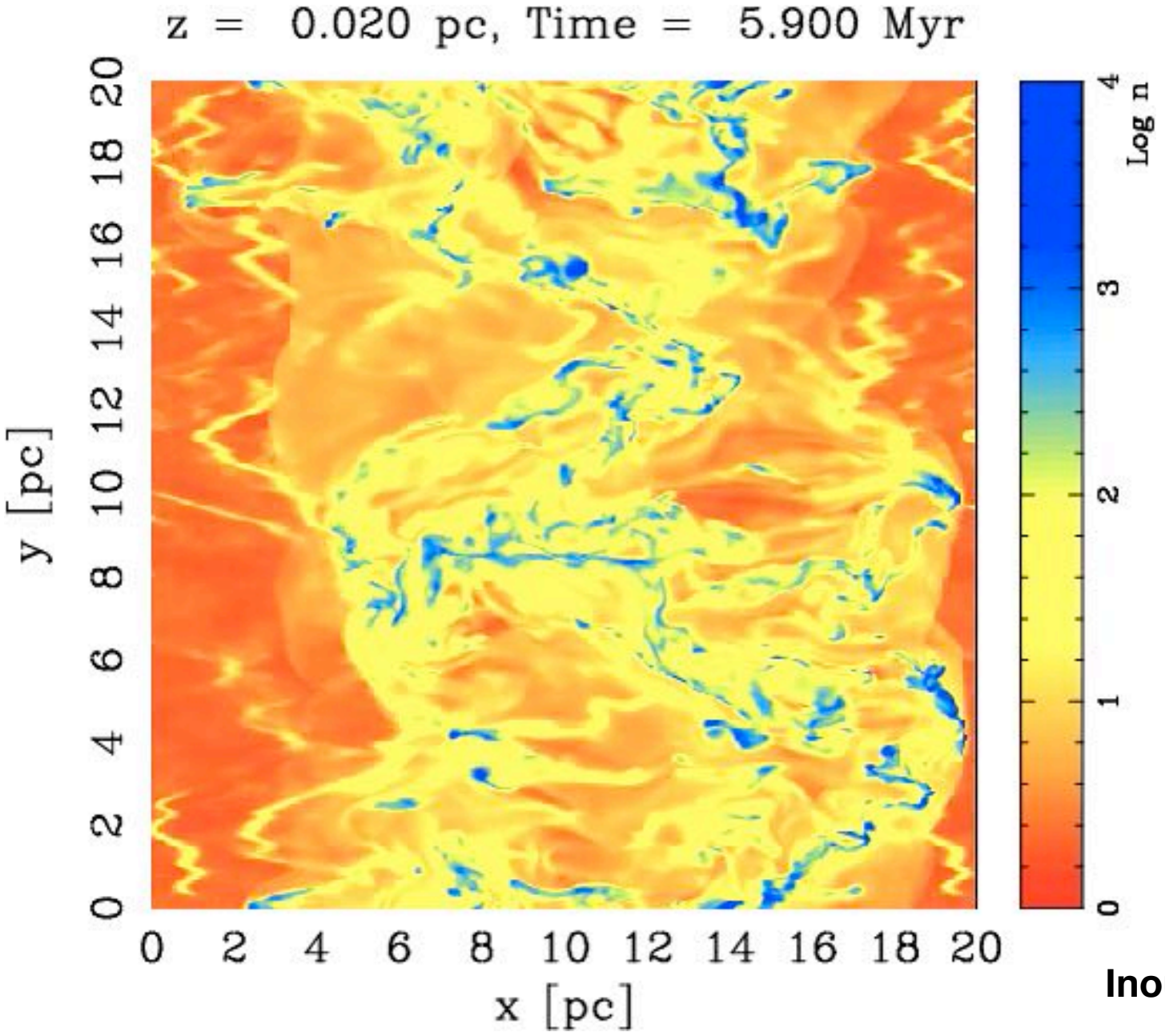
1. ガスの衝突速度と比べると、星の速度分散が小さすぎる (< 10 km/s)
   (e.g., ANTENNAE GALAXIES (NGC 4038/4039); Whitmore et al. 2005)

→ ガスのバルクなエネルギーが全て星にいくわけではないので問題ない

今日のトークの結論

銀河間潮汐相互作用による
大質量星星団 R136 形成

Future Work (1): Numerical simulations



Inoue et al.

Future Work (2): Other galaxy

■ **大質量星形成と分子雲衝突**

- □ 大質量星形成の諸問題
- □ 分子雲衝突（Cloud-Cloud Collision）の理論モデルと観測例

■ **大質量星団 R136**

- □ 星団の特徴
- □ 先行研究（LMC-SMC 相互作用、D- & L-components）

■ **解析結果**

- □ D- & L-components の分離と空間分布
- □ 速度構造
- □ 低金属量ガスの流入

■ **まとめと今後**

- □ 数値計算と他天体への適用

銀河間潮汐相互作用による
大質量星星団 R136 形成