

銀河間相互作用 と大質量星形成

星形成セミナー

柘植

2018/7/19

Outline

- アンテナ銀河
 - 解析結果
 - 今後の解析・観測について
- 今後の解析天体拡張について

Antenna Galaxies (NGC4038/4039)

2

NGC 4038



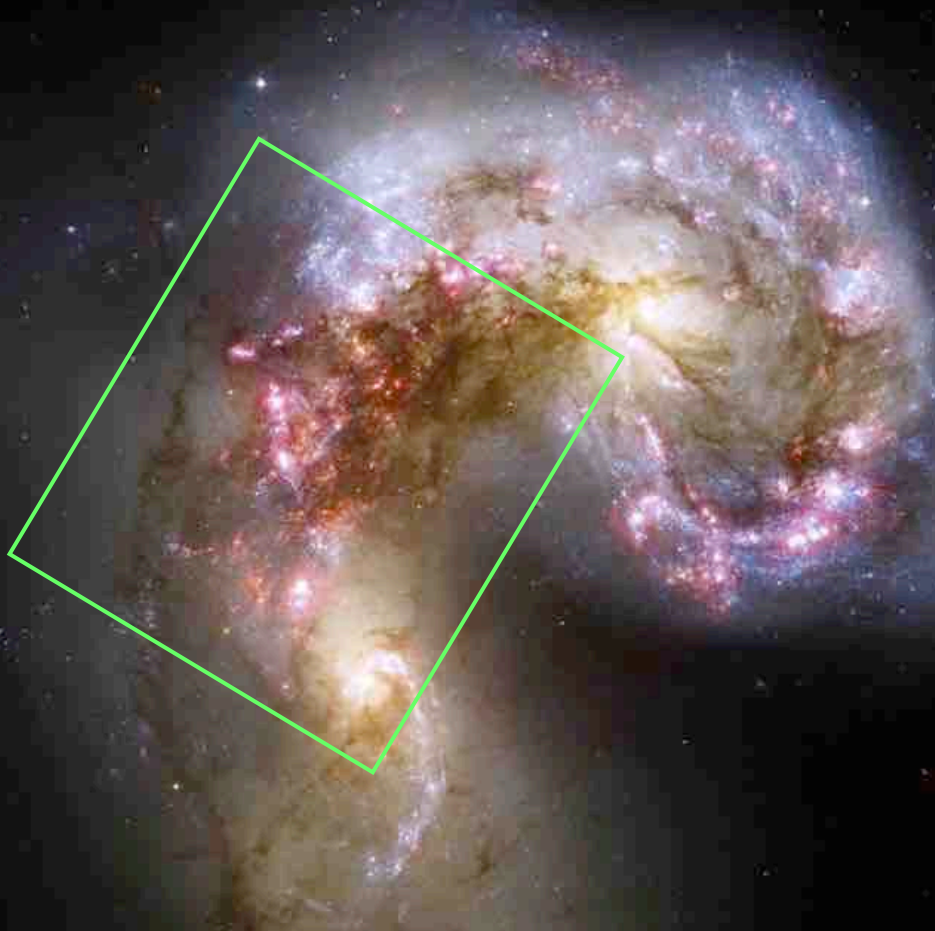
NGC 4039

- 距離: ~ 22 Mpc
- NGC 4038;
- (RA=12h01m53.0s, Dec=-18° 52'10")
- NGC4039;
- (RA=12h01m53.6s, Dec=-18° 53'11")
- Interaction since a few Myrs ago
- 1000 個もの巨大星団が形成. そのうち 10% は **super star cluster** .
球状星団へ進化すると考えられる.

銀河衝突がスターバーストを誘発されているが、
星団形成について詳細な研究は行われていない

Antenna Galaxies (NGC4038/4039)

2



NGC 4038



NGC 4039

- 距離: ~ 22 Mpc
- NGC 4038;
- (RA=12h01m53.0s, Dec= $-18^{\circ} 52'10''$)
- NGC4039;
- (RA=12h01m53.6s, Dec= $-18^{\circ} 53'11''$)
- Interaction since a few Myrs ago
- 1000 個もの巨大星団が形成. そのうち 10% は **super star cluster** .
球状星団へ進化すると考えられる.

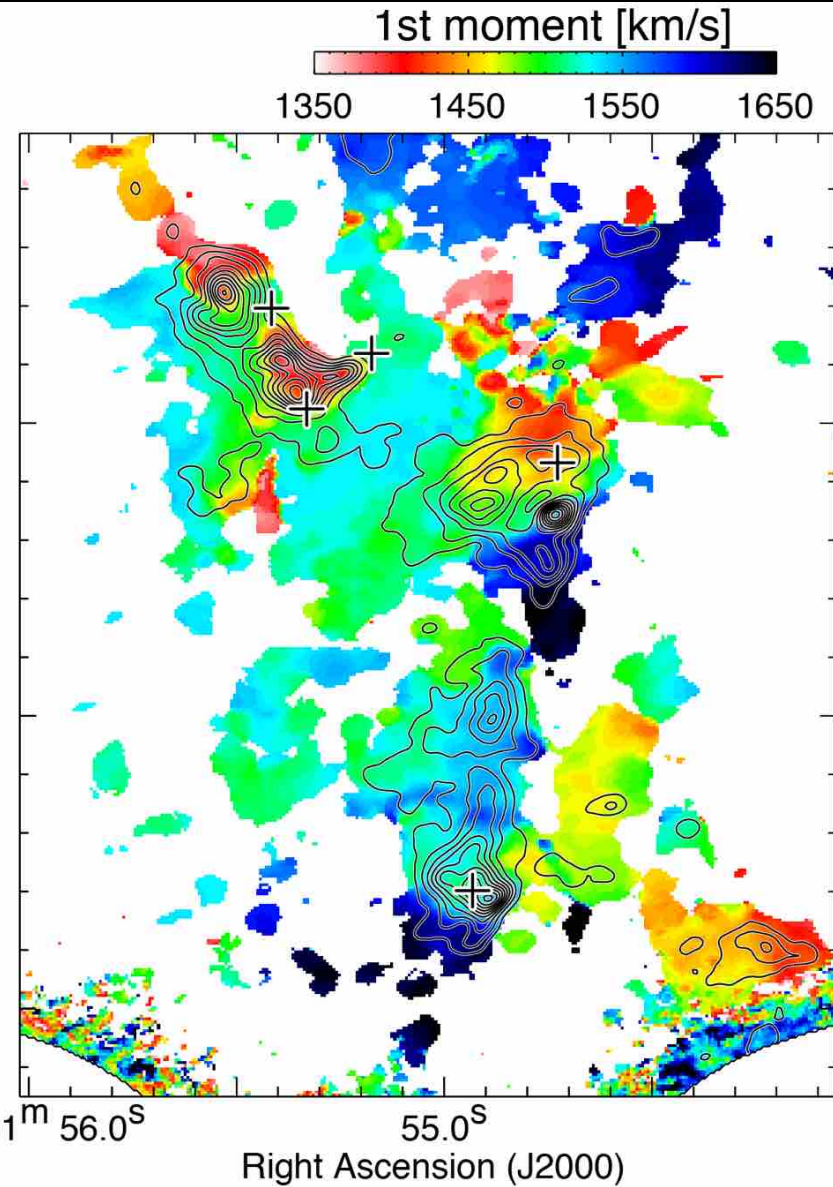
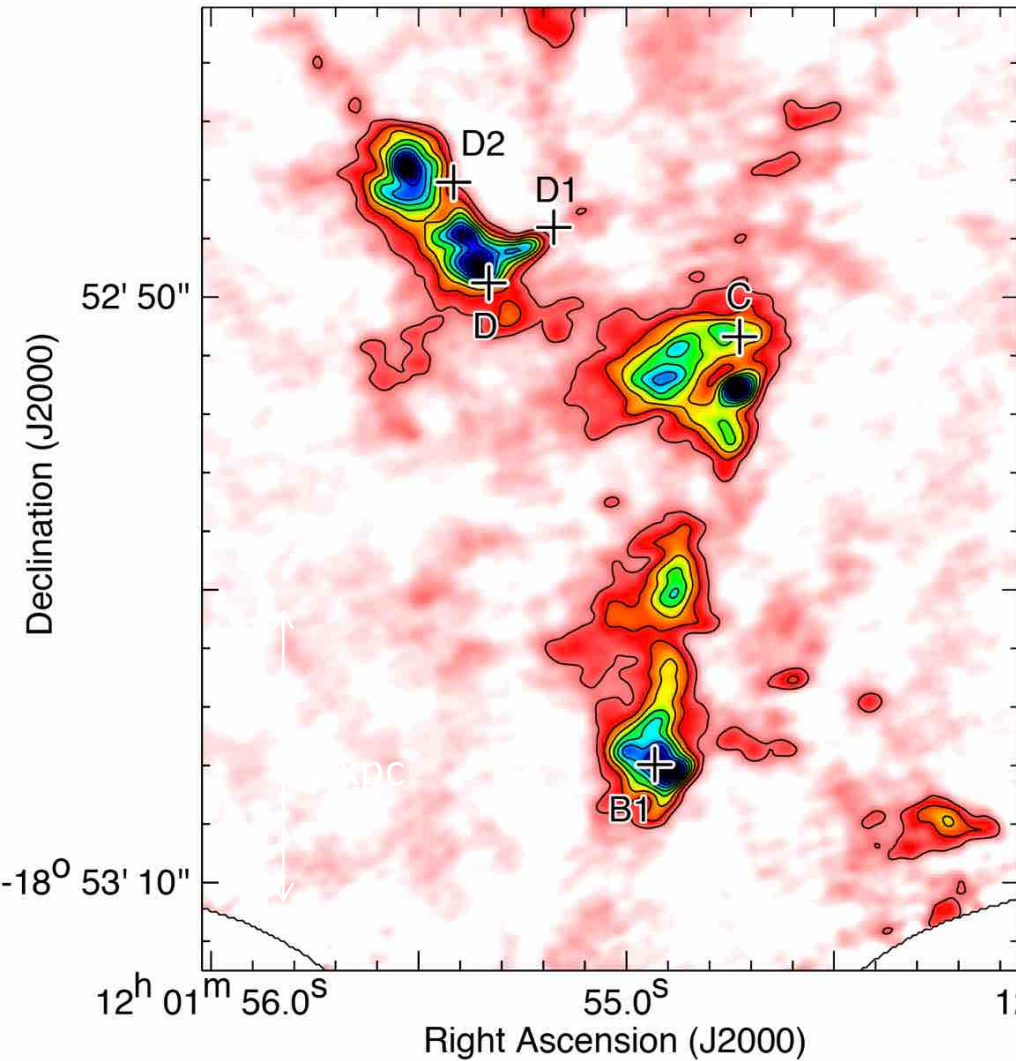
銀河衝突がスターバーストを誘発すると考えられているが、
星団形成について詳細な研究は行われていない

0th and 1st moment maps ³

12CO(3-2)

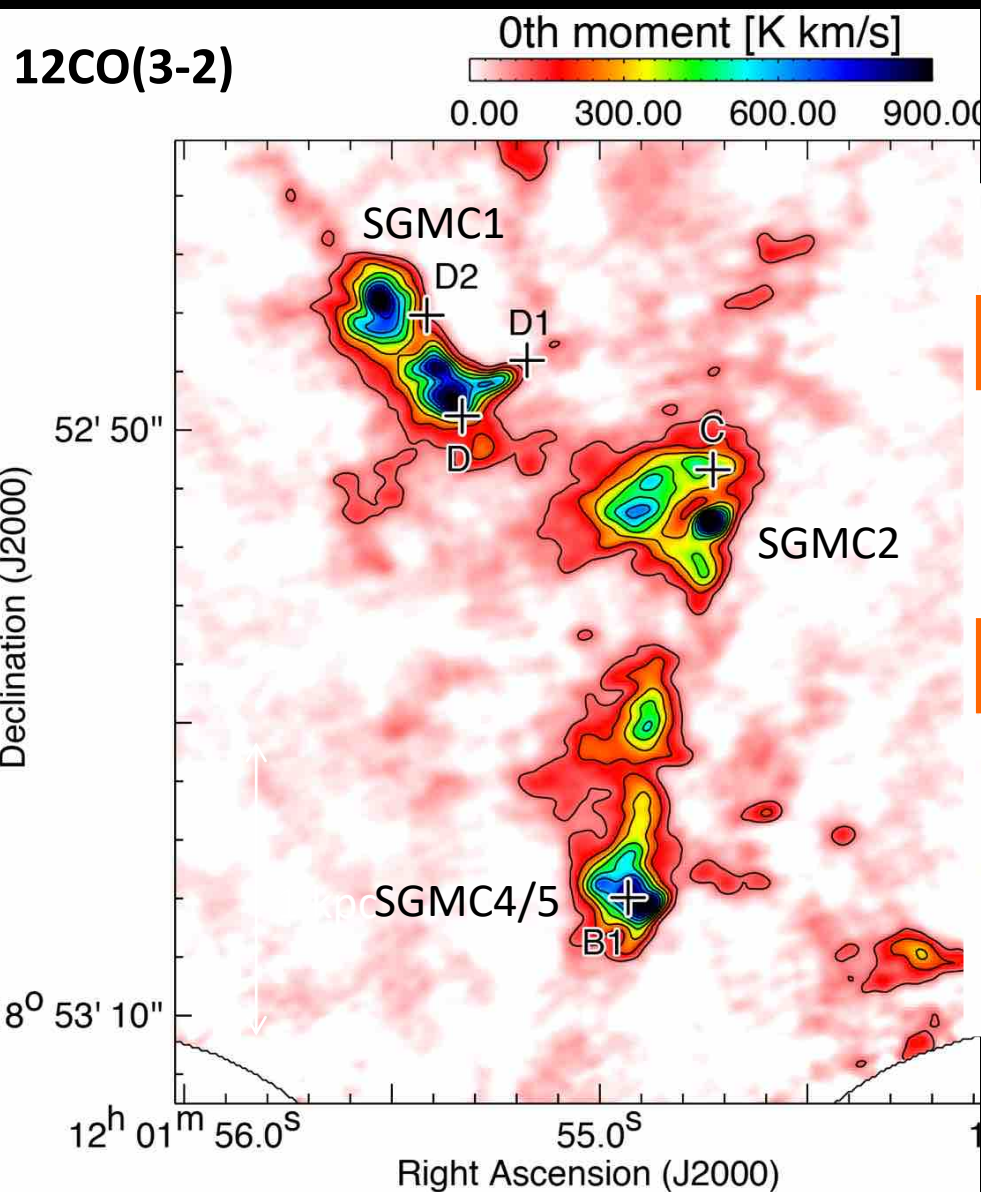
0th moment [K km/s]

0.00 300.00 600.00 900.00



0th and 1st moment maps

4



Super star cluster

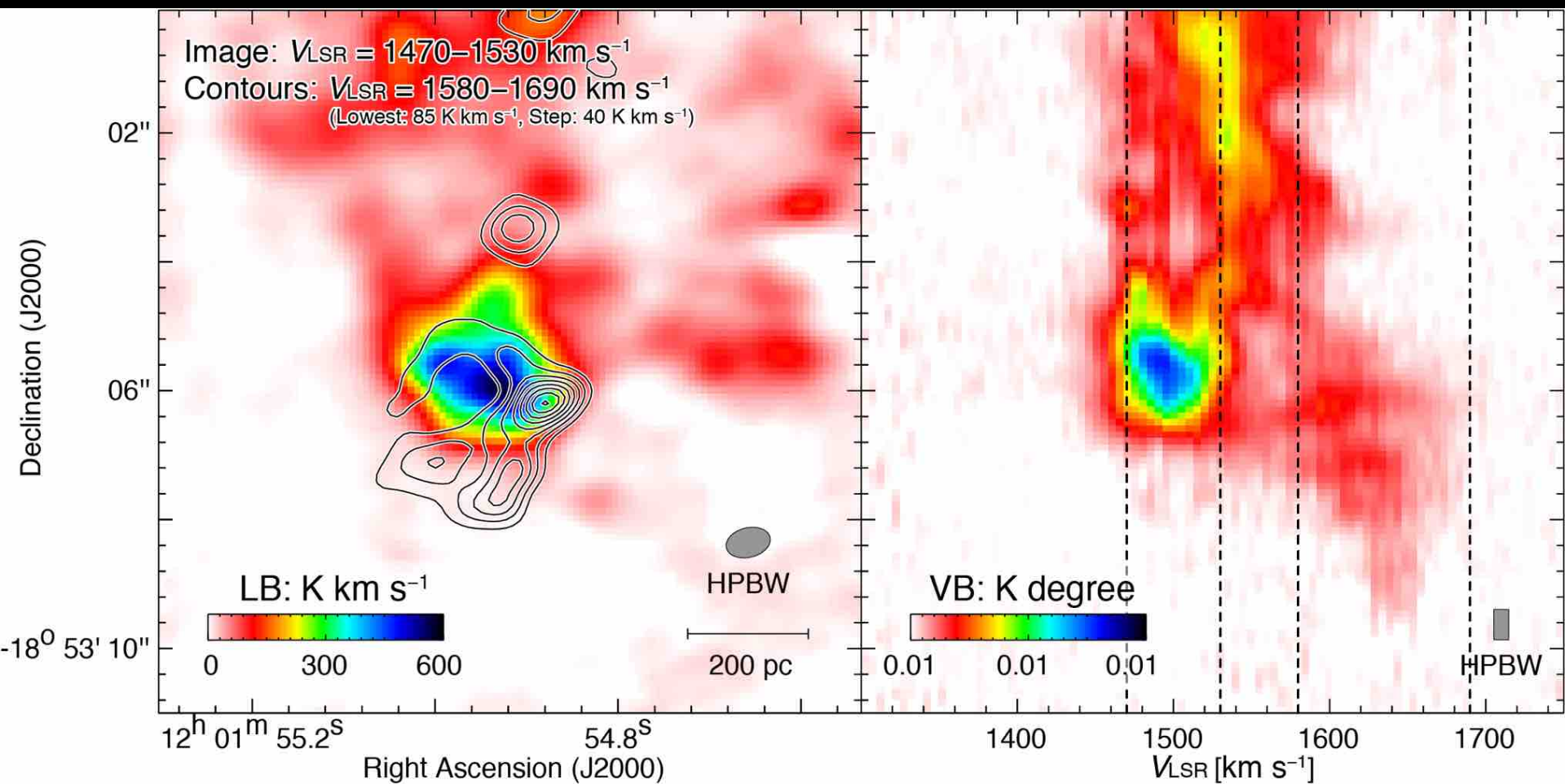
SSC ID	Age ^a Myr	Mass 10 ⁶ M _⊙	Ref. ^b	Flux H ₂ erg s ⁻¹ cm ⁻²	Flux Bry
D 30	3.9 1.45	1.4 0.32	[1] [2]	<2.9×10 ⁻¹⁶	2.1±0.1×10 ⁻¹⁵
D1 3	6.1 —	1.6 —	[1] [2]	<1.1×10 ⁻¹⁶	<1.5×10 ⁻¹⁶
D2	5.4	0.8	[1]	<1.1×10 ⁻¹⁶	6.7±0.3×10 ⁻¹⁶
C 28	5.7 4.8	4.1 1.2	[1] [2]	<1.0×10 ⁻¹⁶	<9.9×10 ⁻¹⁷
B1 ^c 16	3.5 1	4.2 6.8	[1] [2]	2.9±0.2×10 ⁻¹⁵	2.2±0.1×10 ⁻¹⁴

Fluxes are not corrected for extinction.

^a Errors in ages estimated by Gilbert & Graham (2007) are derived from Starburst99 fits to the Bry EW and are typically below 0.1 Myr. Cluster D2 has a larger error on the Bry EW, the error on the mass is 5.4^{+0.4}_{-1.4}.

^b [1] Gilbert & Graham (2007), [2] Table 8 in Whitmore et al. (2010). Masses estimated by Gilbert & Graham (2007) are not corrected by extinction.

^c SSC first identified by Whitmore & Schweizer (1995) as WS80.



Low-velocity cloud: $\sim 5 \times 10^7 M_{\odot}$

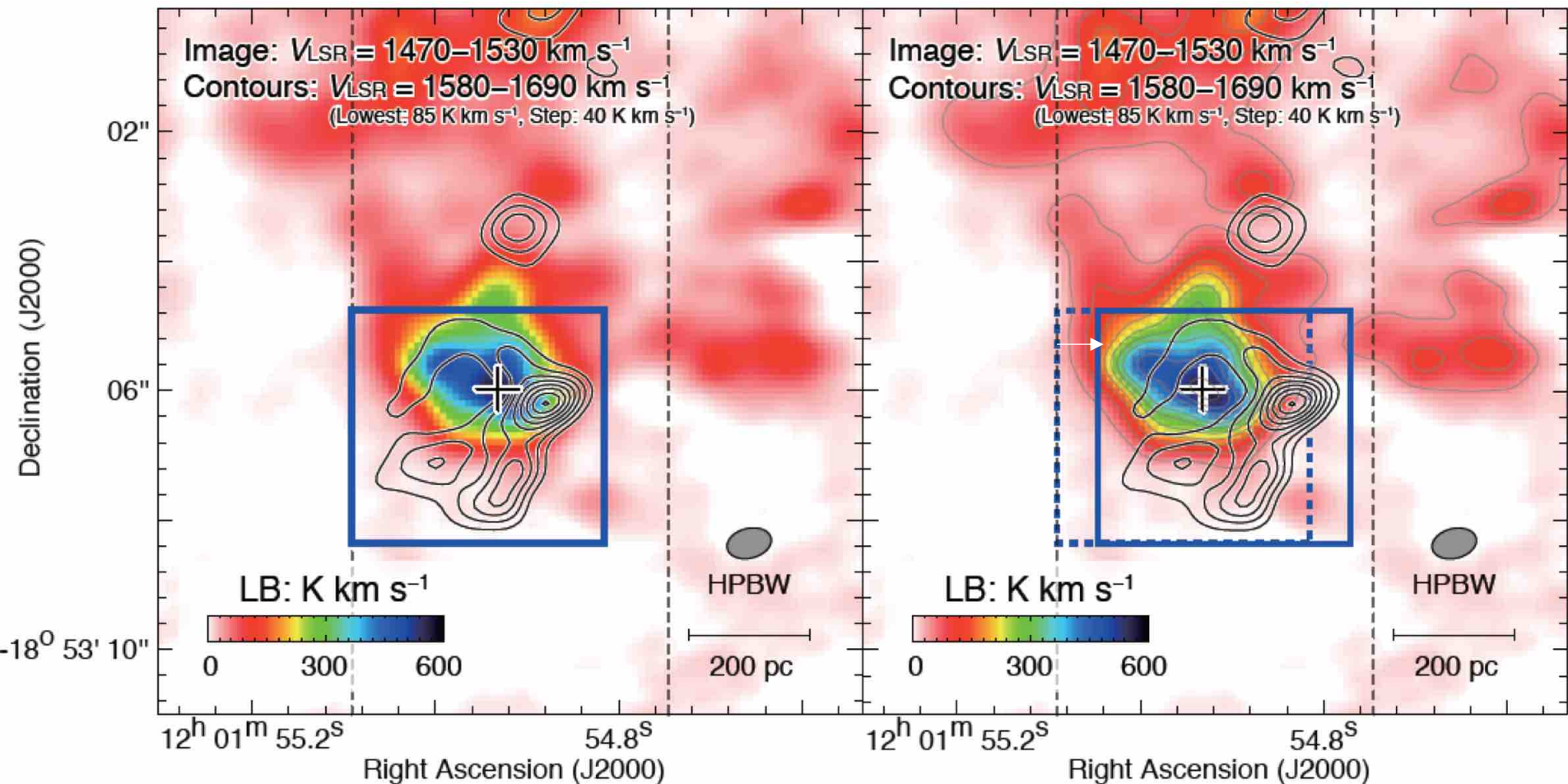
High-velocity cloud: $\sim 3 \times 10^7 M_{\odot}$

$\Delta V: \sim 40 \text{ km s}^{-1}$

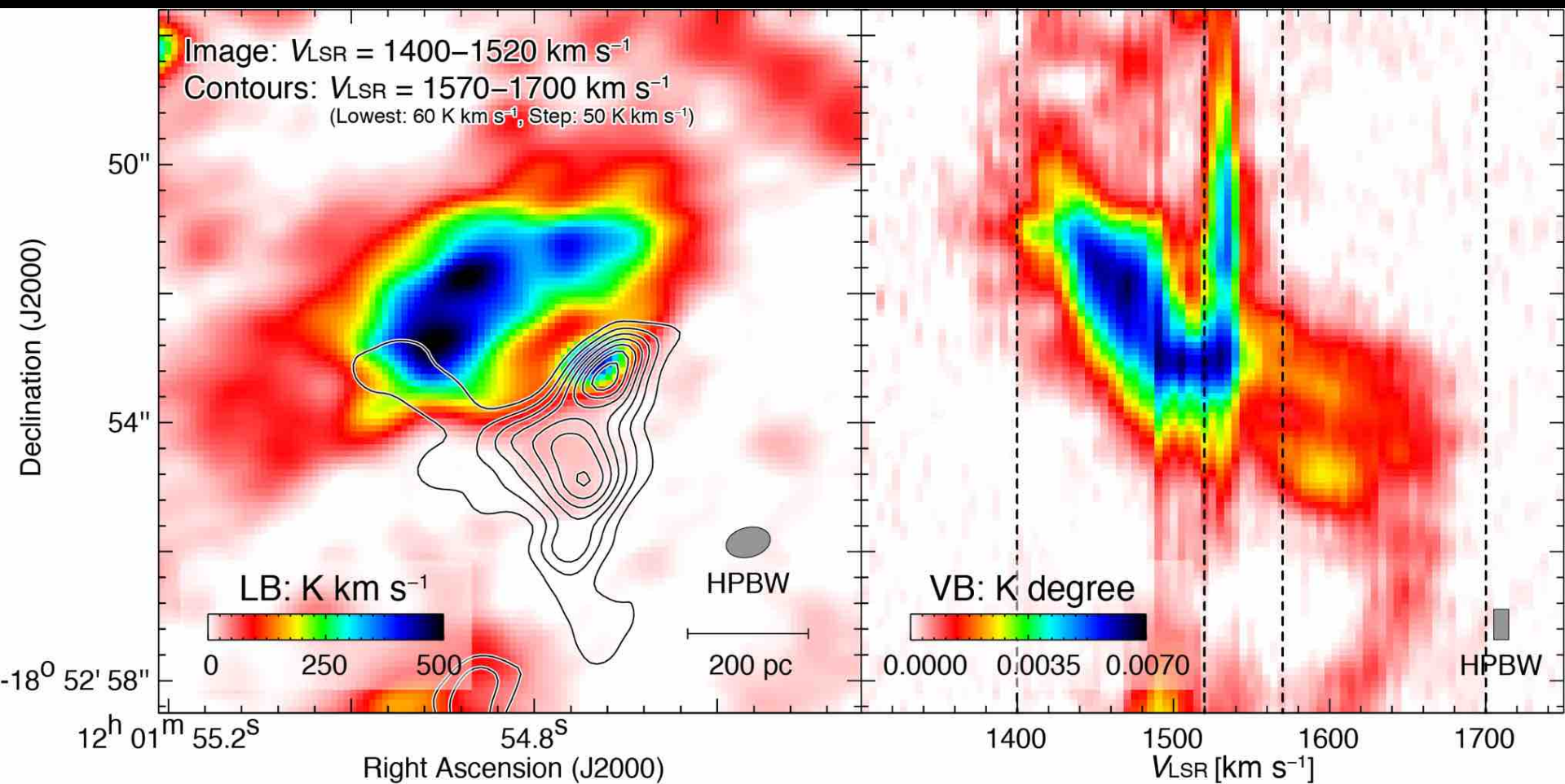
$\sim 1.3 \times 10^{54} \text{ erg}$
 Kinematic energy

>

$\sim 7.2 \times 10^{53} \text{ erg}$: total mechanical luminosity from the stellar wind
 (e.g., Westerlund 2: $\sim 3.6 \times 10^{51} \text{ erg}$, Rauw et al. 2007)



$\sim 60 \text{ pc} / 80 = 0.75 \text{ Myr} \sim 1 \text{ Myr}$
 SSC B1 の年齢 1.45 Myr
 オーダーでは合っている.



Low-velocity cloud: $\sim 9 \times 10^7 M_{\odot}$

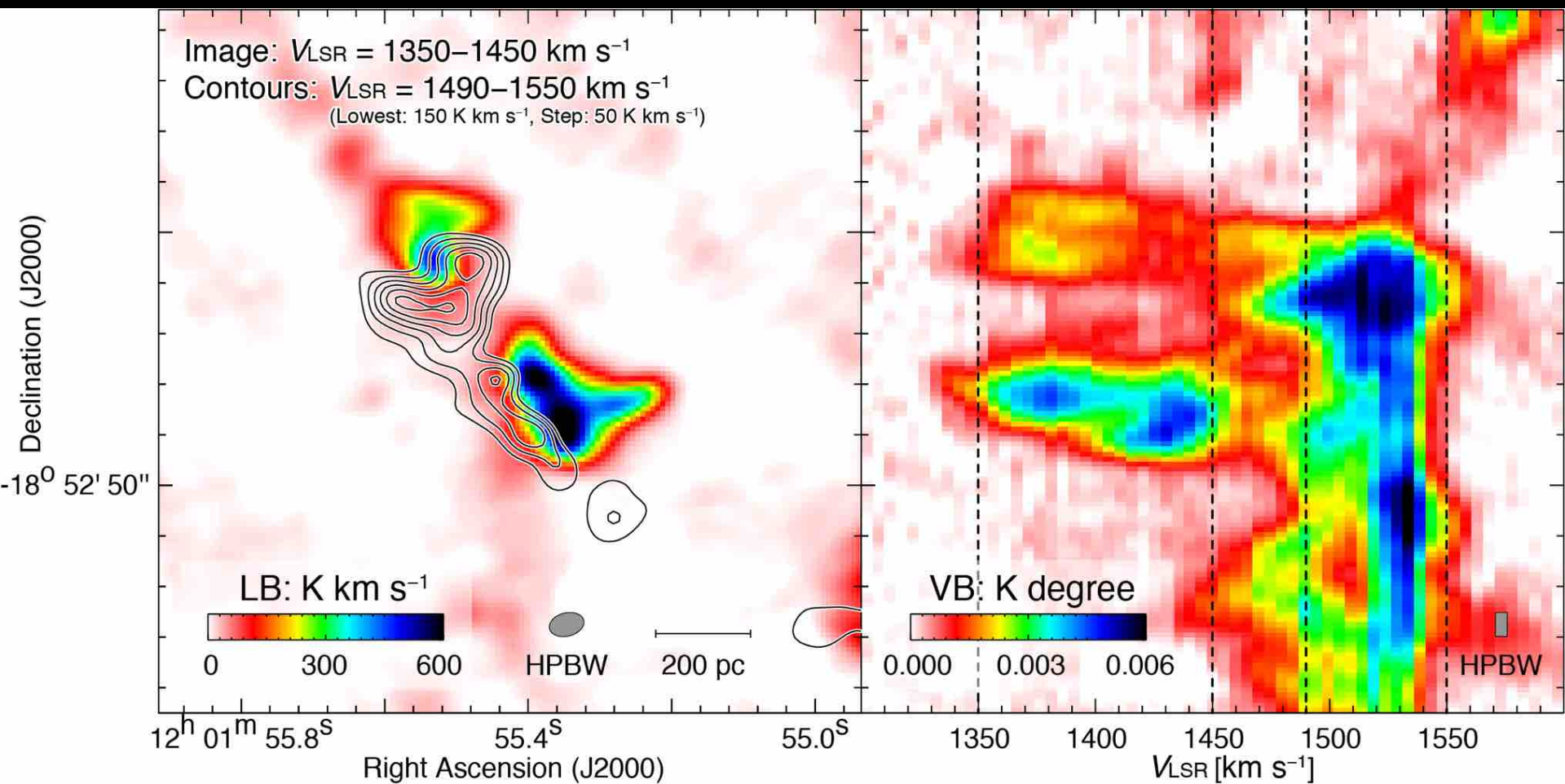
High-velocity cloud: $\sim 4 \times 10^7 M_{\odot}$

$\Delta V: \sim 68 \text{ km s}^{-1}$

$\sim 6 \times 10^{54} \text{ erg}$
 Kinematic energy

>

$\sim 7.2 \times 10^{53} \text{ erg}$: total mechanical luminosity from the stellar wind
 (e.g., Westerlund 2: $\sim 3.6 \times 10^{51} \text{ erg}$, Rauw et al. 2007)



Low-velocity cloud: $\sim 5 \times 10^7 M_{\odot}$

High-velocity cloud: $\sim 9 \times 10^7 M_{\odot}$

$\Delta V: \sim 68 \text{ km s}^{-1}$

$\sim 6 \times 10^{54} \text{ erg}$
 Kinematic energy

>

$\sim 6.8 \times 10^{53} \text{ erg}$: total mechanical luminosity from the stellar wind
 (e.g., Westerlund 2: $\sim 3.6 \times 10^{51} \text{ erg}$, Rauw et al. 2007)

解析可能な ALMA データ

CO

Project code	Release	Line (CO 関係)	Resolution	Region
2011.0.00876.S	2013/12/31	12CO(3-2)	~ 0.57" (再解析済み)	Overlap
2013.1.01041.S	2015/11/12	13CO(2-1)	~ 0.43"	Overlap ALMA01005805.fits
2015.1.00038.S	2018/01/25	13CO(3-2)	~ 0.1" = 10 pc	SSC B1 周辺 ALMA01074772.fits
2016.1.00924.S	2018/02/02	12CO(2-1)	~ 0.43"	SGMC2 周辺
2016.1.00924.S	2018/02/02	12CO(3-2)	~ 0.29"	SGMC2 周辺 ALMA01085959.fits
2016.1.00924.S	2018/02/02	13CO(2-1)	~ 0.47"	SGMC2 周辺

HCN, HCO⁺, CS, CN, HCN, HCO⁺, SiO, HNCO, CH₃OH, ...

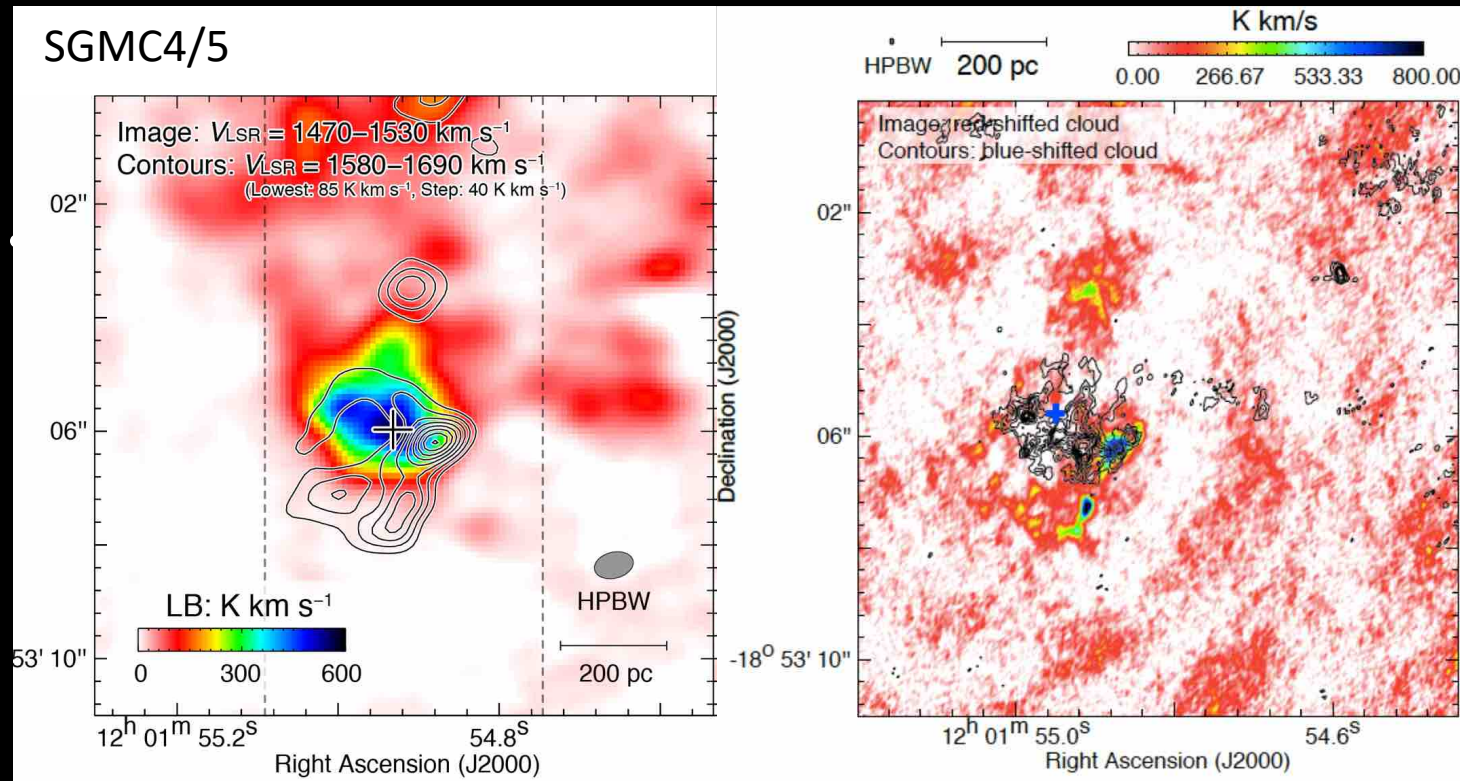
- CO の分解能向上

- LMC と同じスケールで空間分解して相補的な分布を確認するためには、 $\sim 0.15''$ (~ 15 pc) データの解析・観測が必要.

 ^{12}CO (3-2)

 $\Delta\theta \sim 0.57'' \sim 60$ pc

 ^{13}CO (3-2): dirty image

 $\Delta\theta \sim 0.1'' \sim 10$ pc


- 他の SMC の高分解能観測も考えられる.

- [CI] (3P_1 - 3P_0) の観測
- CO と HI の中間層を見たい。

Name	W(CI)	W(CO1-0)	W(CO3-2)	I(CI)	I(CO3-2)
NGC 891 (100,0)	10	58 (22")	23	$12 \cdot 10^{-7}$	$9.7 \cdot 10^{-7}$
He2-10	3.8	10 (40")	13	$4.6 \cdot 10^{-7}$	$7.1 \cdot 10^{-7}$
IRAS 10565	9.5	16 (22")	9	$12 \cdot 10^{-7}$	$6.7 \cdot 10^{-7}$
NGC 4038	4.3	321 (7")	40	$5.2 \cdot 10^{-7}$	$17 \cdot 10^{-7}$
NGC 4038/4039	8.7	454 (7")	51	$10.6 \cdot 10^{-7}$	$21 \cdot 10^{-7}$
Mrk 231	6.0	22 (22")	16	$8.0 \cdot 10^{-7}$	$6.7 \cdot 10^{-7}$
NGC 4736 (nucleus)	11	32 (22")	33	$13 \cdot 10^{-7}$	$14 \cdot 10^{-7}$
NGC 4736 (40,0)	2.5	17 (22")	16	$3.0 \cdot 10^{-7}$	$6.7 \cdot 10^{-7}$
NGC 6090	5.1	3.5 (45")	25	$6.2 \cdot 10^{-7}$	$10.5 \cdot 10^{-7}$
IC 342	51	213 (22")	120	$0.62 \cdot 10^{-5}$	$0.50 \cdot 10^{-5}$
NGC 253	575	325 (43")	990	$7.0 \cdot 10^{-5}$	$4.2 \cdot 10^{-5}$
M 82	120	709 (22")	574	$1.5 \cdot 10^{-5}$	$2.41 \cdot 10^{-5}$
Milky-Way (center)				$10 \cdot 10^{-7}$	$10 \cdot 10^{-7}$
Milky-Way (disk)				$5 \cdot 10^{-7}$	$2.5 \cdot 10^{-7}$

Gerin & Phillips 1997: 15" 分解能

Caltech Submillimeter Observatory (CSO)

CO (3-2) の 2 倍の感度があれば検出可能。

- HI data
 - 観測可能最高分解能: 1.2" 程度
 - 現時点では星団スケールの分解は不可能
=> SKA での観測に期待

感度見積もり

¹² CO (3-2)

- RMS ~ 0.088 K
 - 速度分解能: 5 km/s
 - Angular resolution ~ 0.57"
 - bridge 成分 (1K) > 10 σ
-
- 1 single pointing の beam size; HPBW = 1.898"
 - 1 つの SGMIC が収まる。
(B1 に注目)

[CI]

- Sensitivity: 0.044 K
- 速度分解能 5 km/s
- Angular resolution 0.629" (most compact configuration)
- Largest angular structure 5" ~ 500 pc
- 観測時間: 5.94 h

今後の解析天体拡張について

Starburst galaxy M82

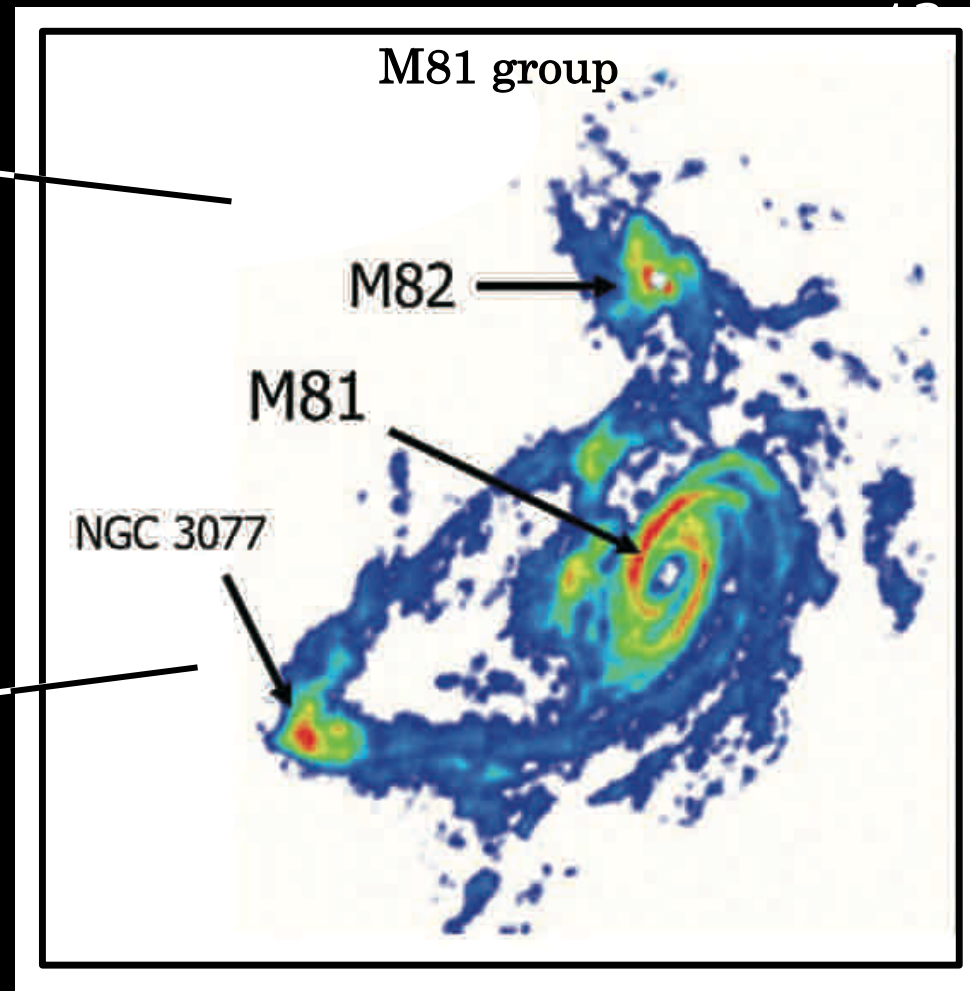
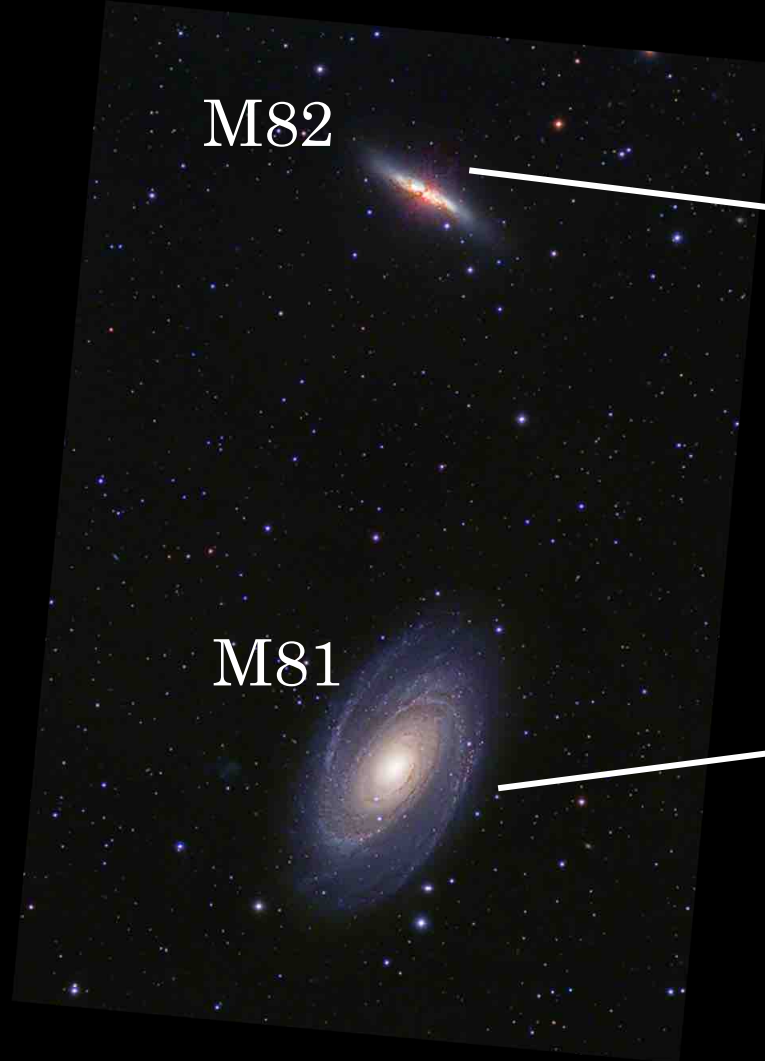
12

- Distance: $3.53 \pm 0.07 \text{ Mpc}$ (Dalcanton et al., 2009)
- inclination: 77° (Mayya 2005)
- M81 group
- The M81 group is one of the nearest groups of galaxies.

中心 $\sim 500 \text{ pc}$ ($\sim 30 \text{ arcsec}$) で star burst
Total stellar mass $\sim 6 \times 10^8 M_\odot$ の 200 個の SSCs
(Mayya and Carrasco, 2009).

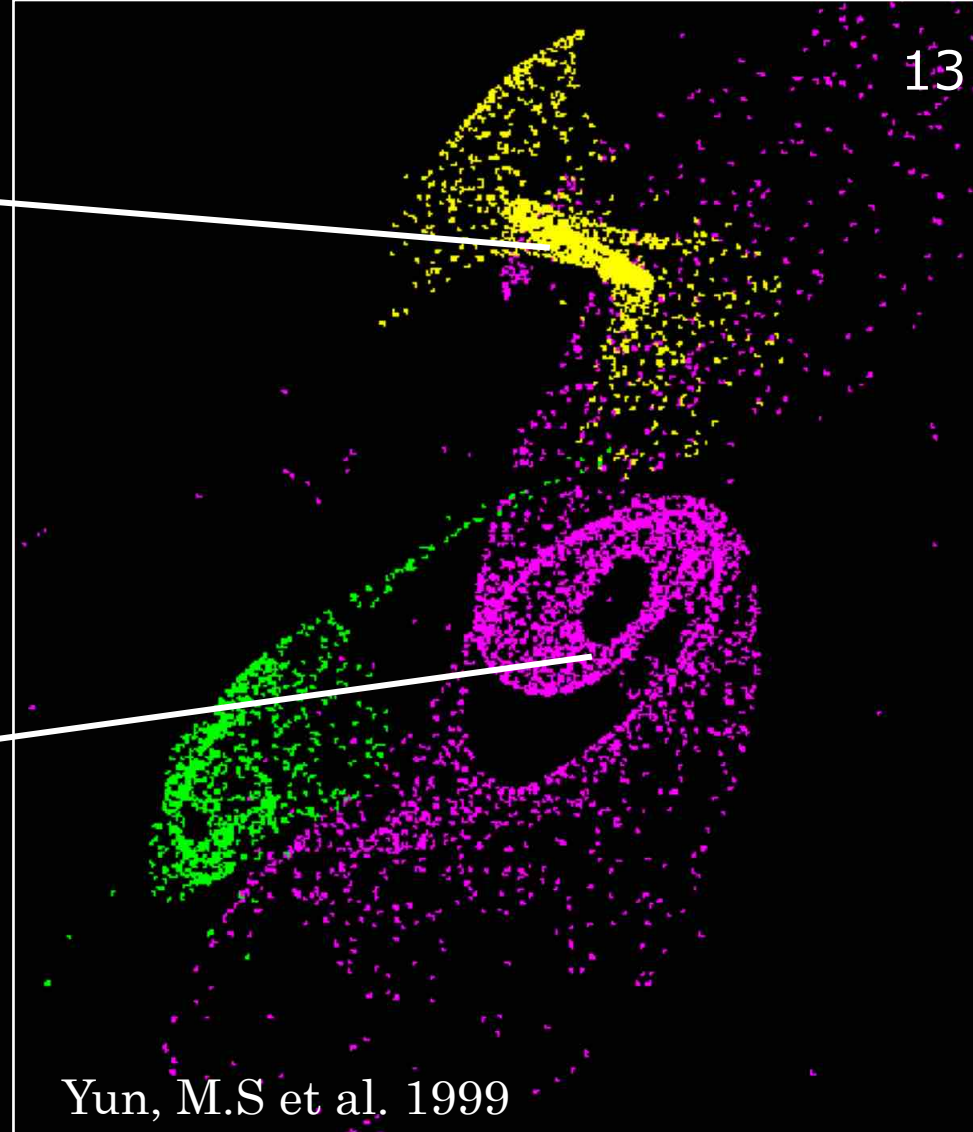
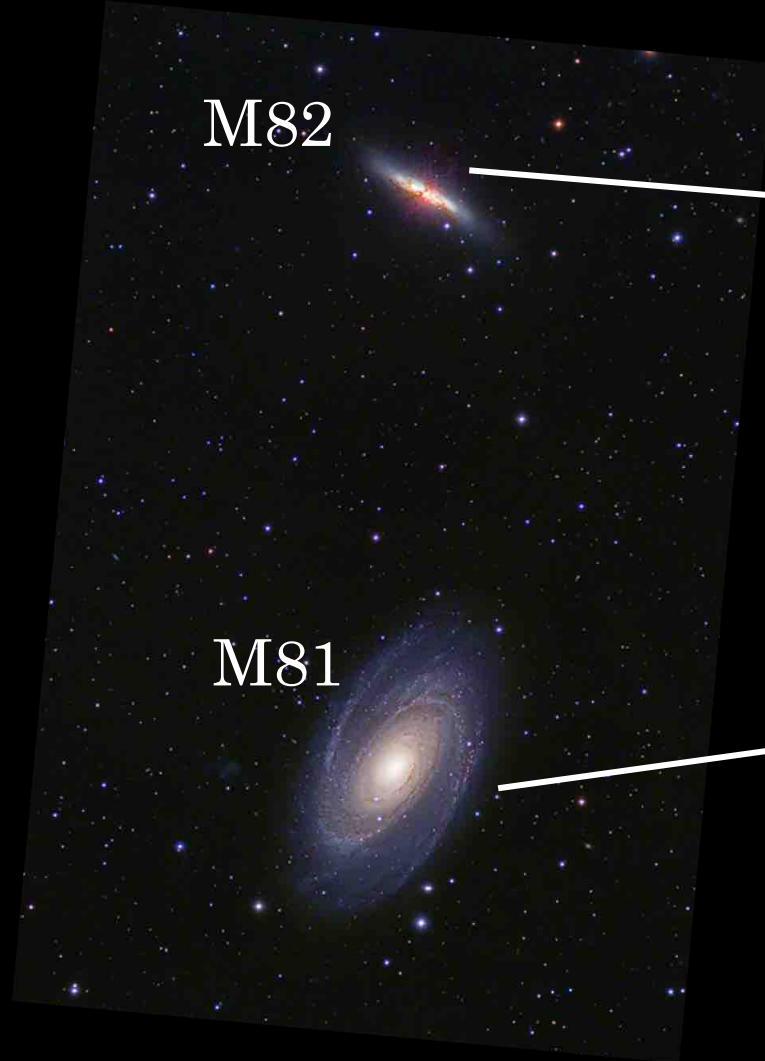
- 500 Myr ago に M81 member と相互作用. Star burst の時期と一致.
- 近接遭遇によって star burst が引き起こされた





HI by VLA : 62×56 arcsec
 (Yun, M.S et al. 1994, *Nature*, 372, 530)

- 3つの銀河の間に tidal bridge と見られる HI filament が存在
- 数値計算: Sofue, 1998, Yun, 1999, Gomez et al., 2004
- M82 中心は高密度であったため, M81 のガスディスクが剥ぎ取られ中心に降着
 => star burst ?



- 3つの銀河の間に tidal bridge と見られる HI filament が存在
- 数値計算: Sofue, 1998, Yun, 1999, Gomez et al., 2004
- M82 中心は高密度であったため, M81 のガスディスクが剥ぎ取られ中心に降着
=> star burst ?