

A New Look at the Molecular Gas in M42 and M43: Possible Evidence for Cloud-Cloud Collision that Triggered Formation of the OB Stars in the Orion Nebula Cluster

M1 後藤 健太

Abstract

45m

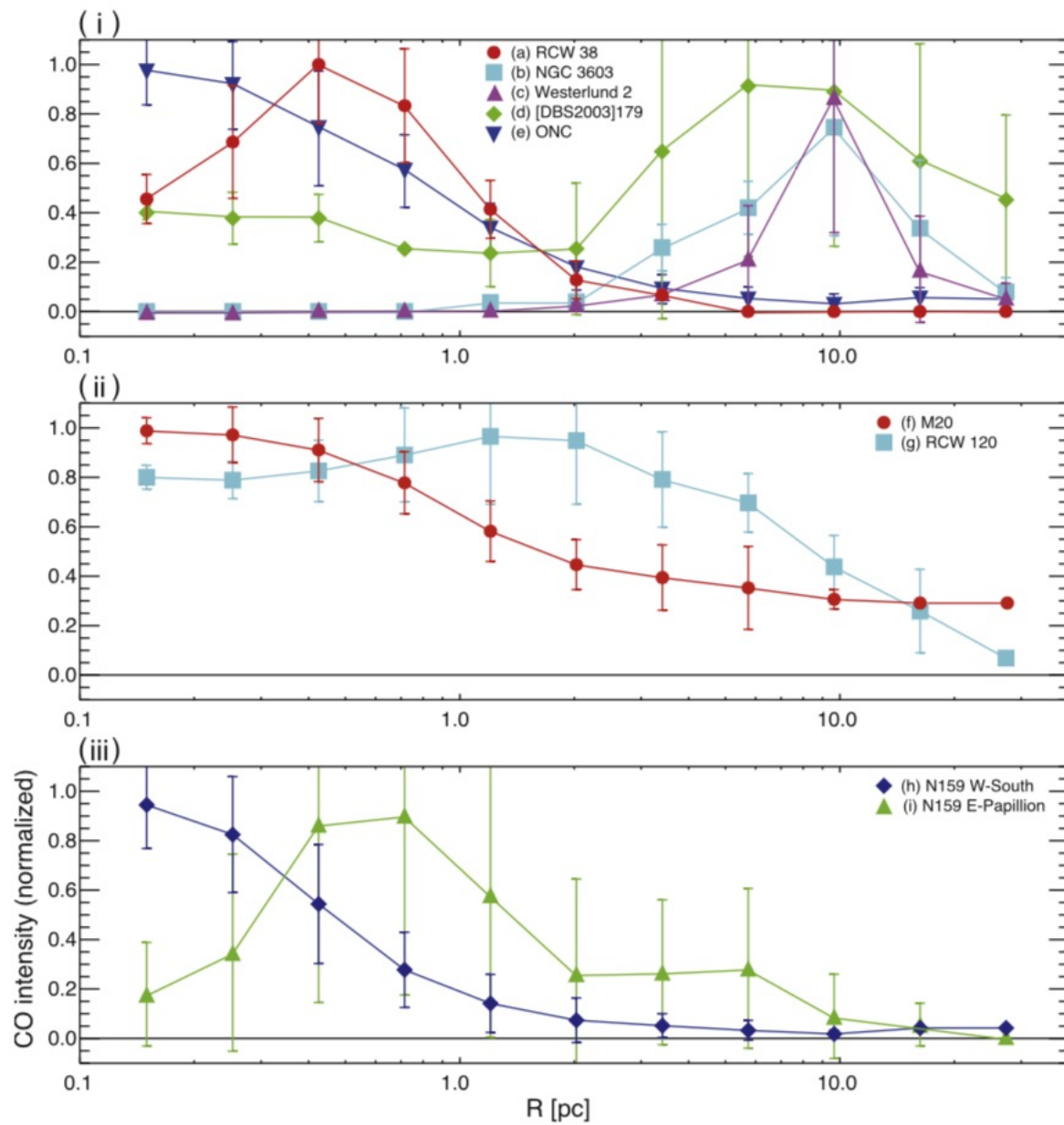
- オリオン大星雲にあるM42領域のアーカイブデータ($^{12}\text{CO}(J=1-0)$, 分解能 $21''$)を新しく解析すると、 8km/s の速度成分を持つ分子雲と 13km/s の速度成分を持つ分子雲の分布が相補的になっていることが少なくとも3箇所を確認できた。
- 「速度成分の異なる2つの分子雲が衝突することにより大質量星が作られる。」という仮説を立てた。
- 衝突のタイムスケールは $\sim 0.1\text{Myr}$ と推測される。(これはyoungest cluster membersの年齢と一致する。)
- 大多数のlow-mass cluster membersは衝突する前に形成される。
- 衝突を通じてO型星が形成されたと考えられる他の8個のケースと比較することにより、現在の仮説と大質量星形成のシナリオについて議論した。

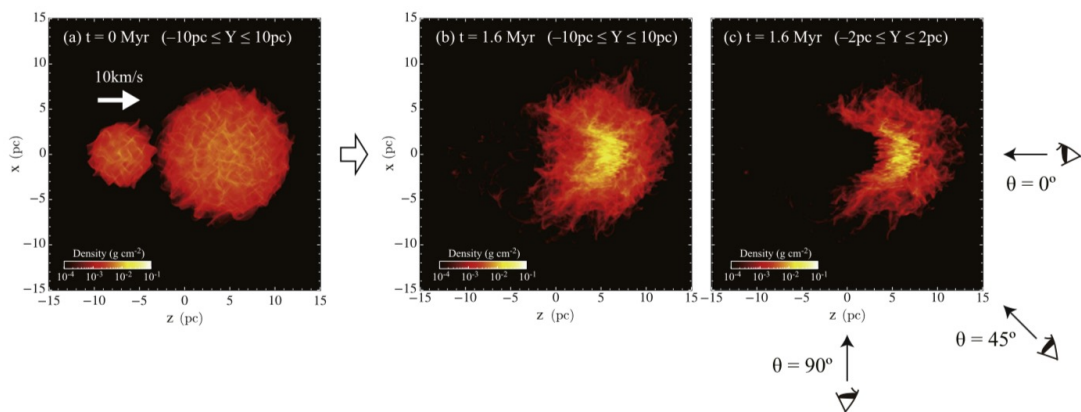
Introduction

- 分子雲が衝突していると考えられる領域がMWとLMCで合計8つある。これらの衝突は10-30km/sの速度成分で起こっており、自己重力は支配的ではない。(観測)
- 衝突によって分子雲の密度が大きくなることが理論でも示されてきた。
- 分子雲衝突が大質量星形成の主な要因であるとするにはサンプル数が足りない。
- この論文では、大規模な星形成領域であるM42,M43の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ のアーカイブデータを用いて新たな解析を行った。

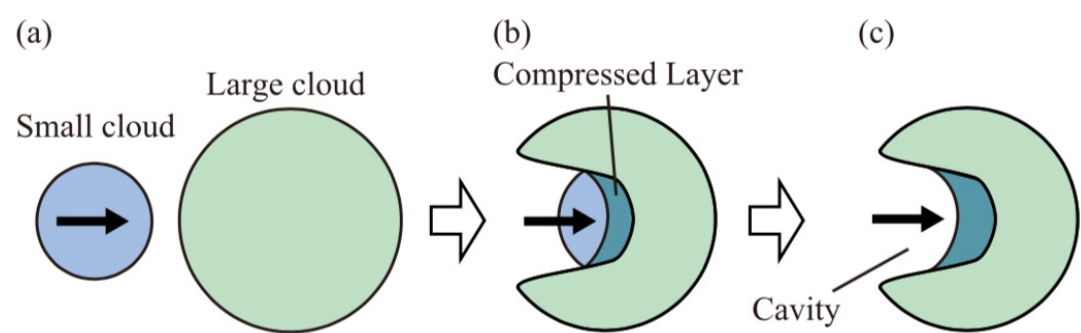
Object	Molecular Mass	Molecular Column Density	Relative Velocity	Complementary Distribution	Bridging Feature	Cluster Age	Number of O Stars	Reference
(1)	$[M_{\odot}]$ (2)	$[\text{cm}^{-2}]$ (3)	$[\text{km s}^{-1}]$ (4)	(5)	(6)	[Myr] (7)	(8)	(9)
RCW 38	$(2 \times 10^4, 3 \times 10^3)$	$(1 \times 10^{23}, 1 \times 10^{22})$	12	no	yes	~ 0.1	~ 20	[1]
NGC 3603	$(7 \times 10^4, 1 \times 10^4)$	$(1 \times 10^{23}, 1 \times 10^{22})$	15	no	yes	~ 2.0	~ 30	[2]
Westerlund 2	$(9 \times 10^4, 8 \times 10^4)$	$(2 \times 10^{23}, 2 \times 10^{22})$	16	yes	yes	~ 2.0	14	[3, 4]
[DBS2003] 179	$(2 \times 10^5, 2 \times 10^5)$	$(8 \times 10^{22}, 5 \times 10^{22})$	20	yes	yes	~ 5.0	> 10	[5]
ONC (M42)	$(2 \times 10^4, 3 \times 10^3)$	$(2 \times 10^{23}, 2 \times 10^{22})$	$\sim 7(\text{a})$	yes	no	~ 0.1	~ 10	[6]
ONC (M43)	$(3 \times 10^2, 2 \times 10^2)$	$(6 \times 10^{22}, 2 \times 10^{22})$	$\sim 7(\text{a})$	yes	no	~ 0.1	~ 1	[6]
M20	$(1 \times 10^3, 1 \times 10^3)$	$(1 \times 10^{22}, 1 \times 10^{22})$	7.5	yes	yes	~ 0.3	1	[7]
RCW 120	$(5 \times 10^4, 4 \times 10^3)$	$(3 \times 10^{22}, 8 \times 10^{21})$	20	yes	yes	~ 0.2	1	[8]
						< 5.0		[9]
N159W-South	$(9 \times 10^3, 6 \times 10^3)$	$(1 \times 10^{23}, 1 \times 10^{23})$	$\sim 8(\text{b})$	no	no	~ 0.06	1	[10]
N159E-Papillon	$(5 \times 10^3, 7 \times 10^3, 8 \times 10^3)$	$(4 \times 10^{22}, 4 \times 10^{22}, 6 \times 10^{22})$	$\sim 9(\text{c})$	no	no	~ 0.2	1	[11]

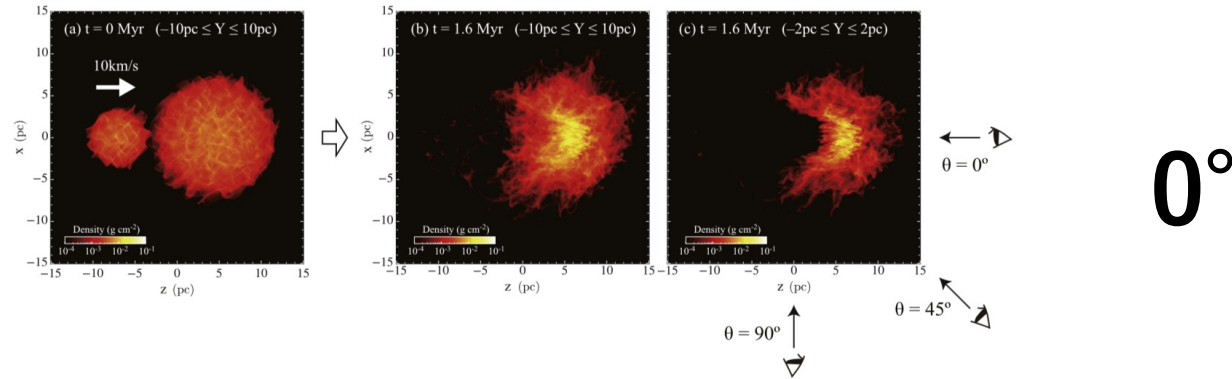
Object	Velocity Range [km s ⁻¹]	Reference
(1)	(2)	(3)
RCW 38	+3.0 to +34.0	[1]
NGC 3603	+1.2 to +20.9	[2]
Westerlund 2	+1.2 to +8.7	[3, 4]
[DBS2003] 179	-104.0 to -81.0	[5]
ONC	+4.0 to +14.9	[6]
M20	-1.0 to +30.0	[7]
RCW 120	-40.0 to +8.8	[8]
N159W-South	+200.0 to +269.8	[9]
N159E-Papillon	+200.0 to +269.8	[10]





Box size [pc]	$30 \times 30 \times 30$		
Resolution [pc]	0.06		
Collision velocity [km s ⁻¹]	5		
Parameter	The Small Cloud	The Large Cloud	Note
Temperature [K]	120	240	...
Freefall time [Myr]	5.31	7.29	...
Radius [pc]	3.5	7.2	...
Mass [$M_{\odot}$]	417	1635	...
Velocity dispersion [km s ⁻¹]	1.25	1.71	...
Density [cm ⁻³]	47.4	25.3	Assumed a Bonner–Ebert sphere

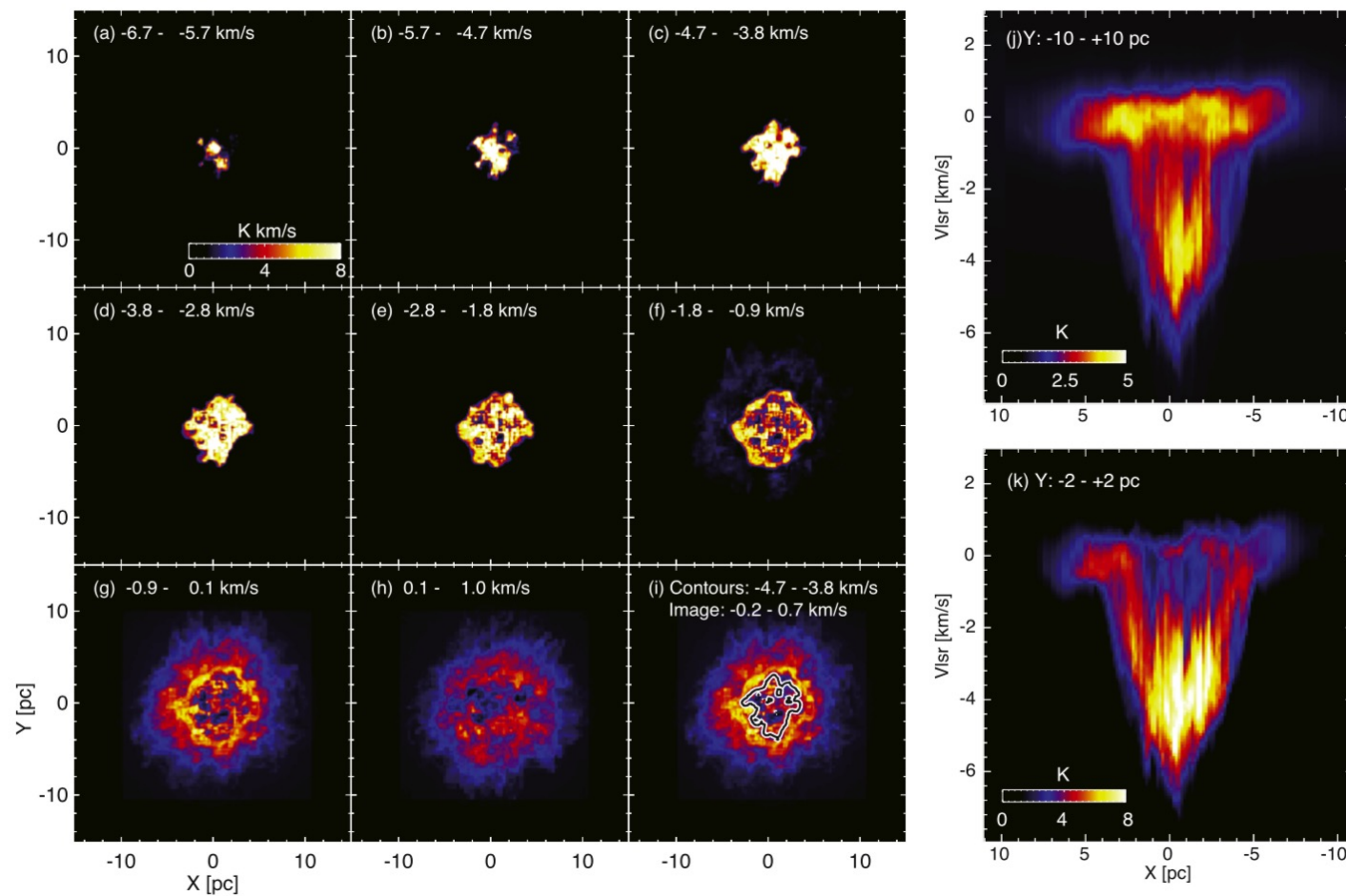


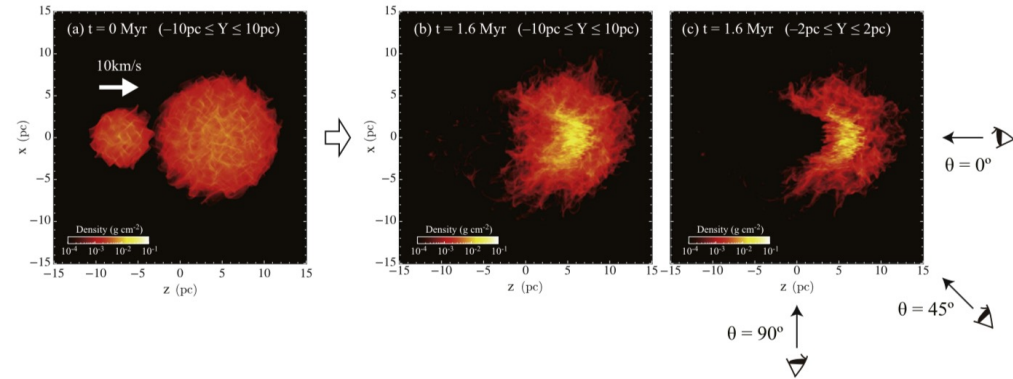


二つの分子雲を見分けることができた。
 (b)-(d) と (f)-(h)

衝突後の二つの分子雲の相補的な分布

Bridging featureが見られる。
 V-shape



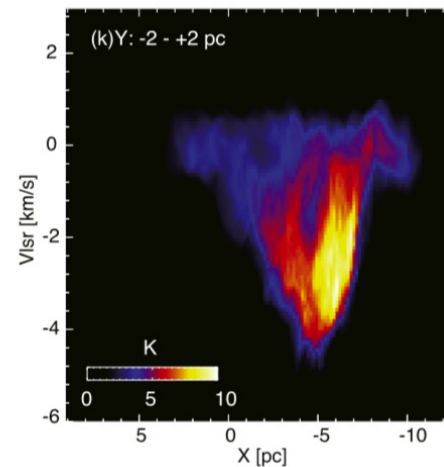
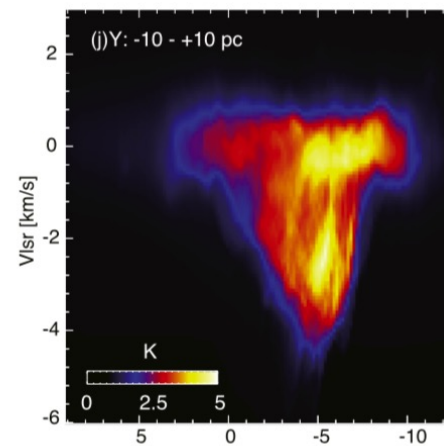
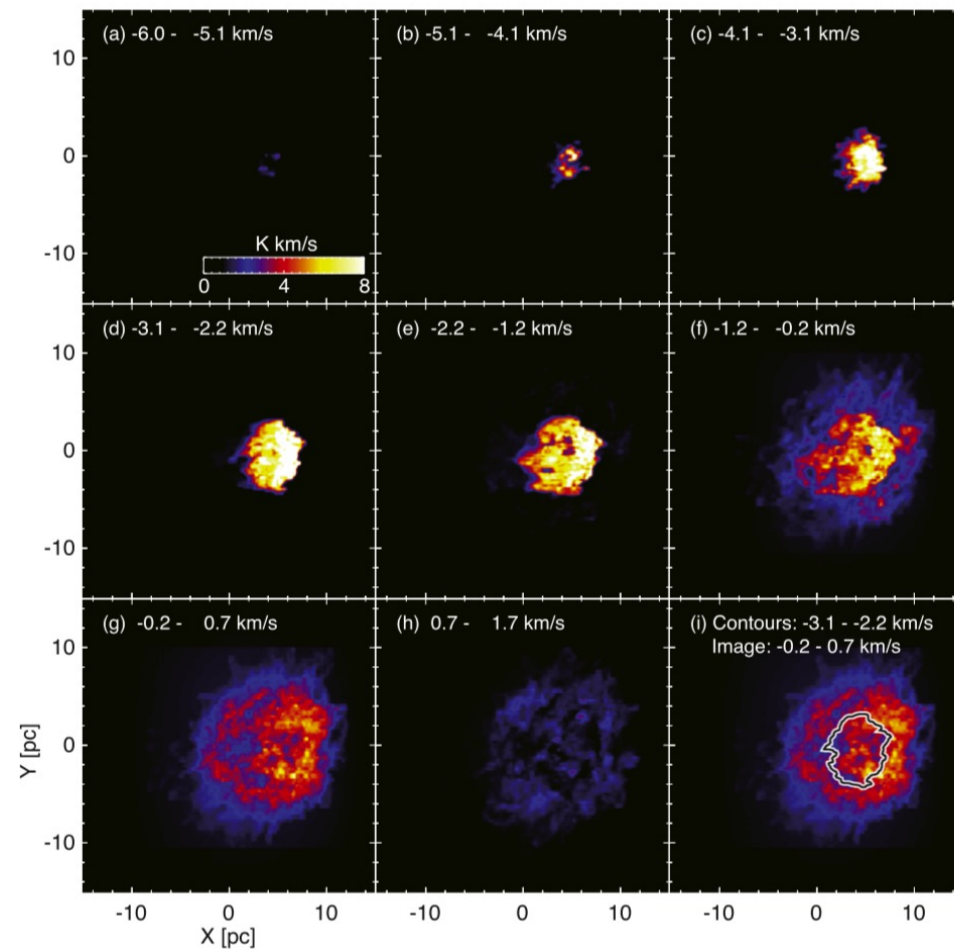


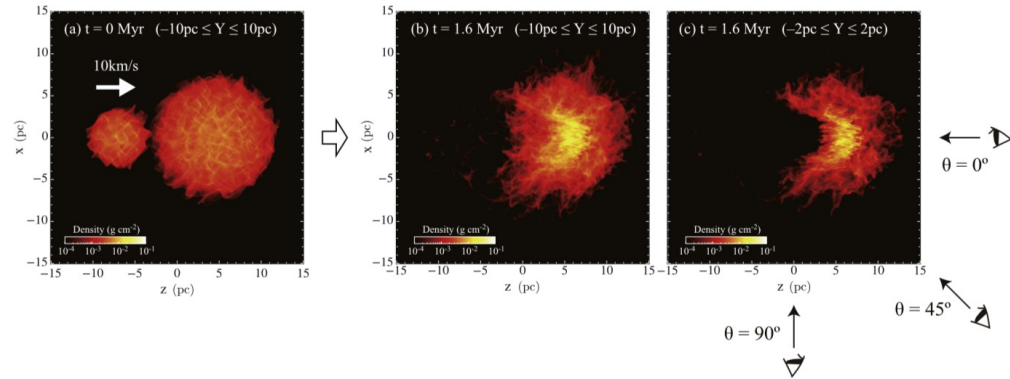
45°

二つの分子雲を見分けることができた。
 (b)-(d) と (f)-(h)

衝突後の二つの分子雲の相補的な分布

Bridging featureが見られる。
 V-shape

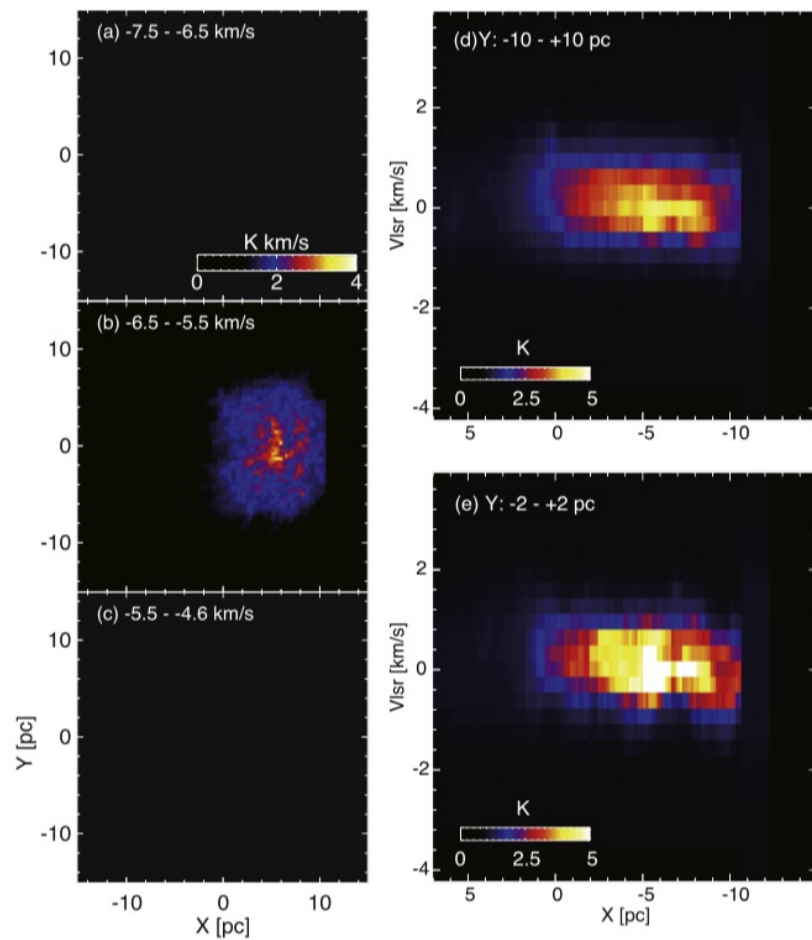




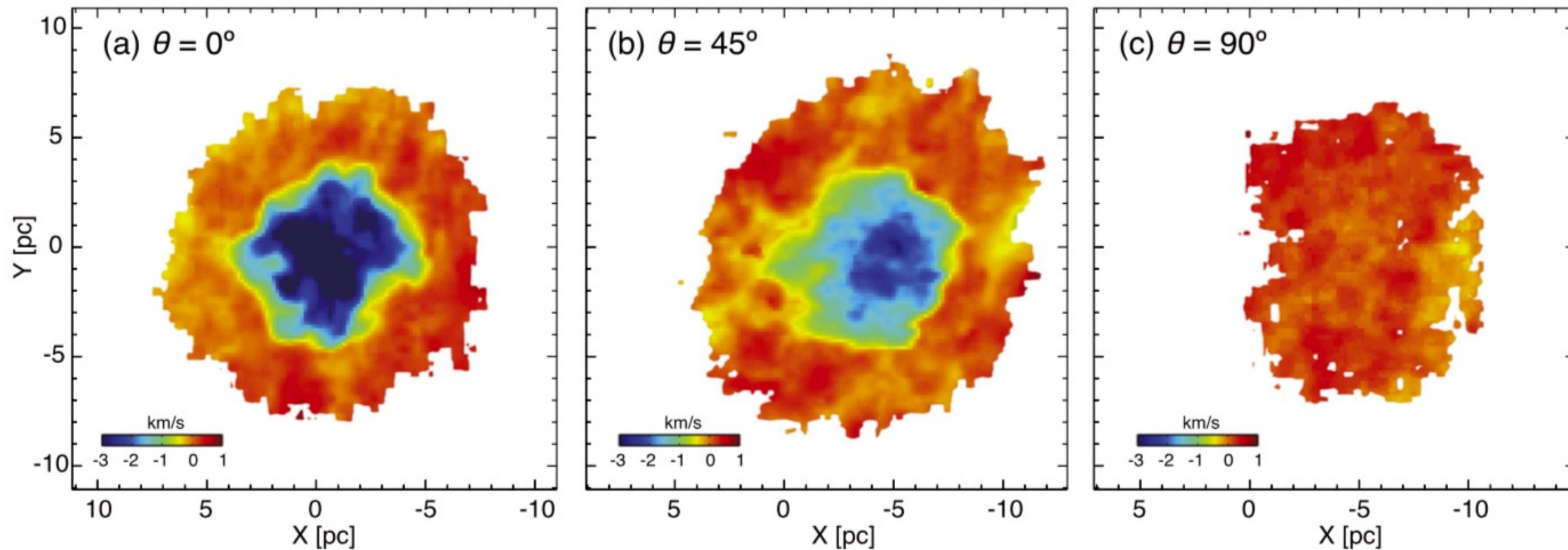
90°

二つの分子雲を見分けることができない。
相補的な分布も見られない。

Bridging featureわからん。



速度分布図



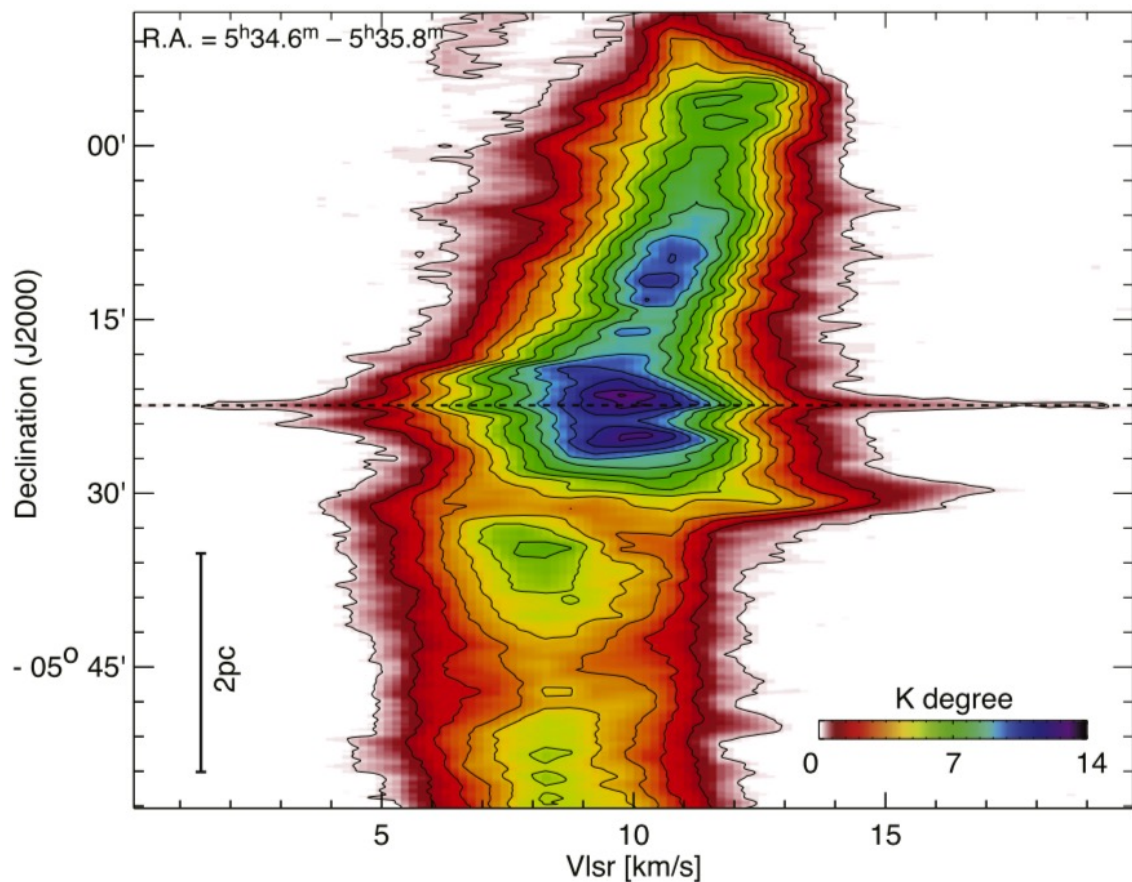


Figure8 : 位置-速度 マップ

75%のCO emissionが一つのcomponentで6-13km/sに分布している。

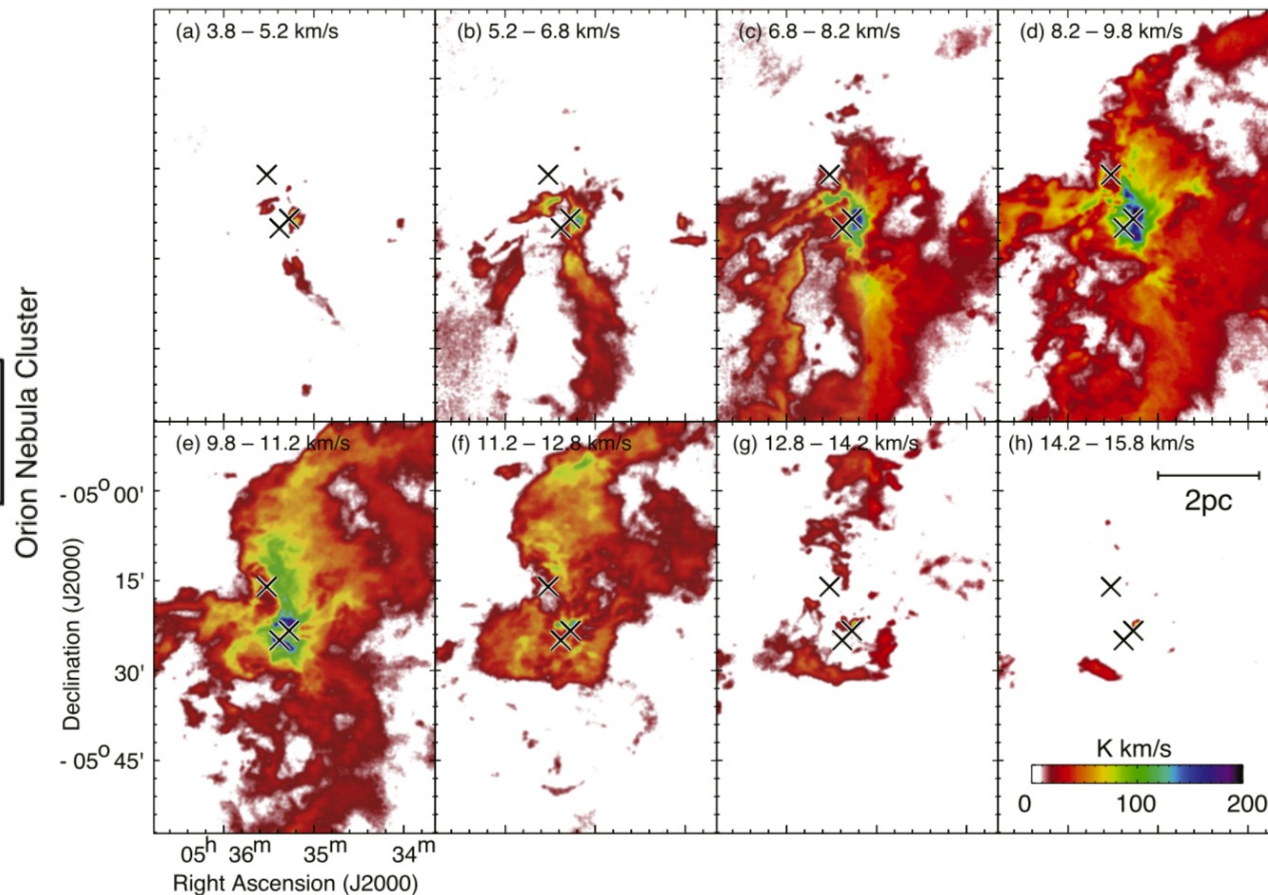


Figure9 : 速度chマップ

5.3-9.8km/s((b),(c),(d))と11.4-14.4km/s((f),(g))でCO emissionが大きく異なる。

二つの分子雲が重なっていることを示している。

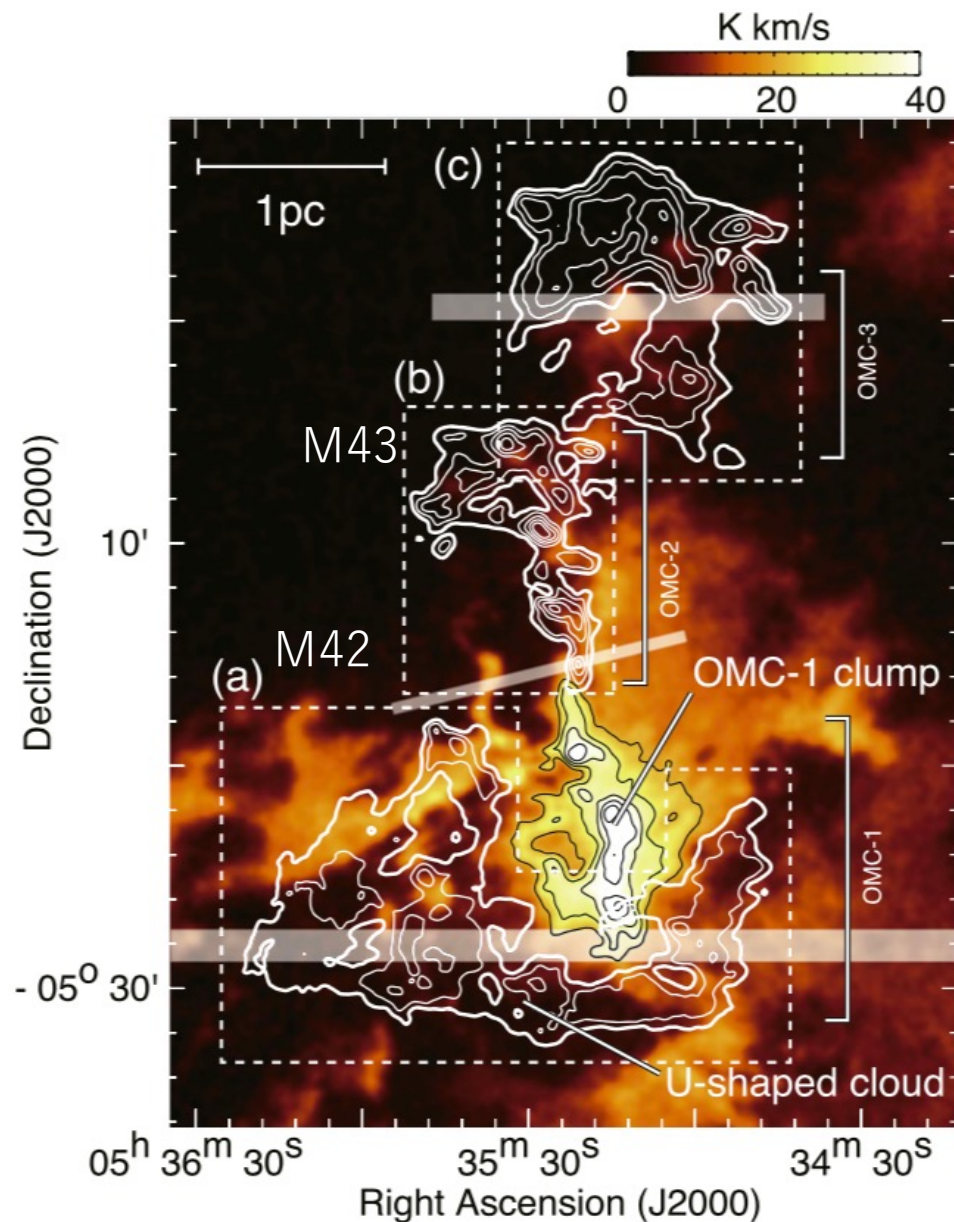


Figure10 : blueshifted cloud と redshifted cloud の比較

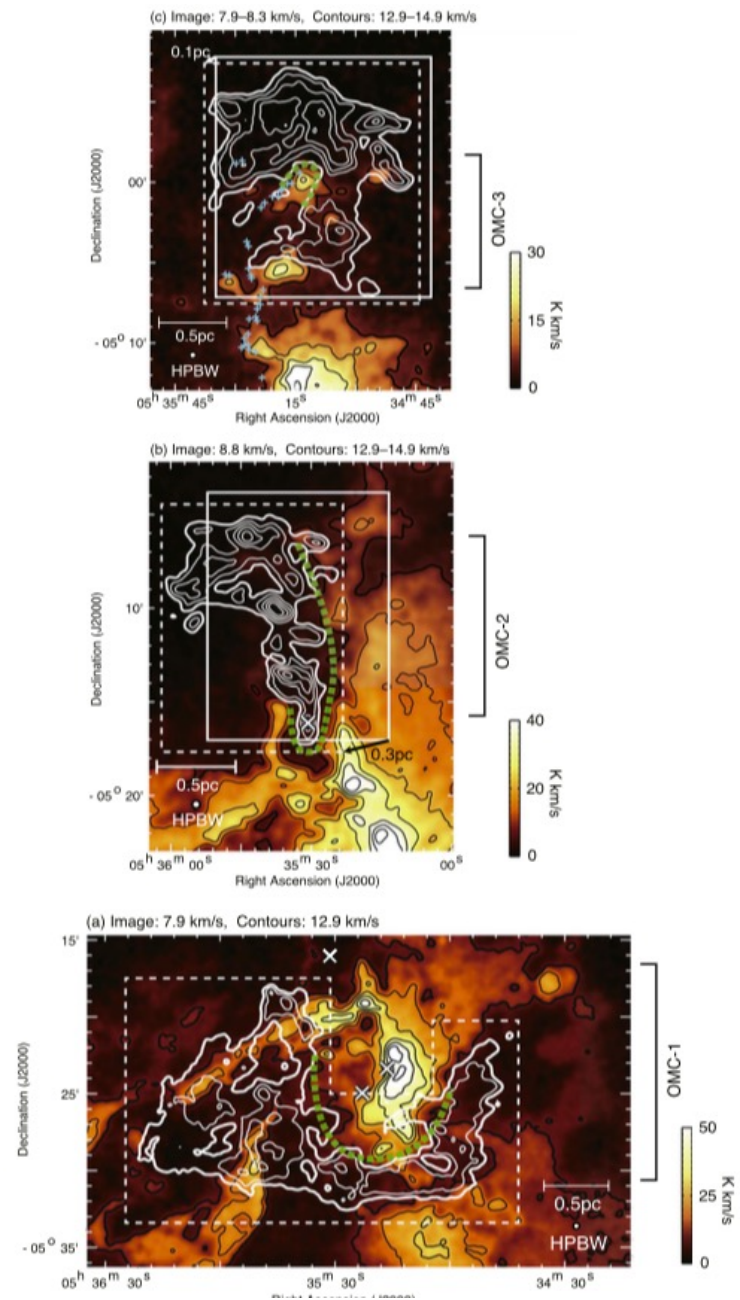
blueshifted : imageと黒コントア

redshifted : 白コントア

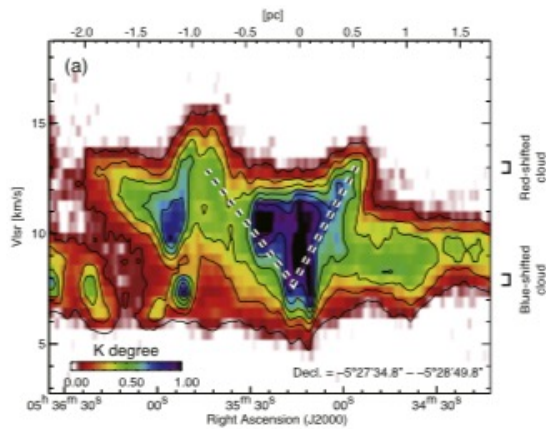
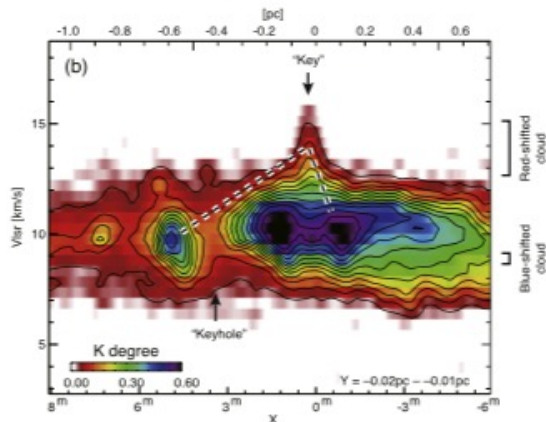
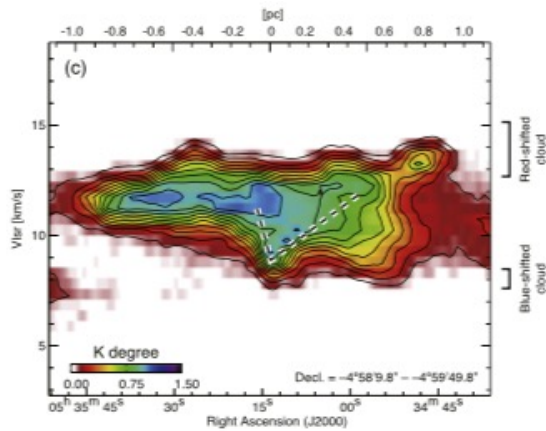
電離水素領域は無い

U-shaped cloudを見つけた。

blueshiftedとredshiftedが相補的な分布になっていることを見つけた。(詳細はfigure11)

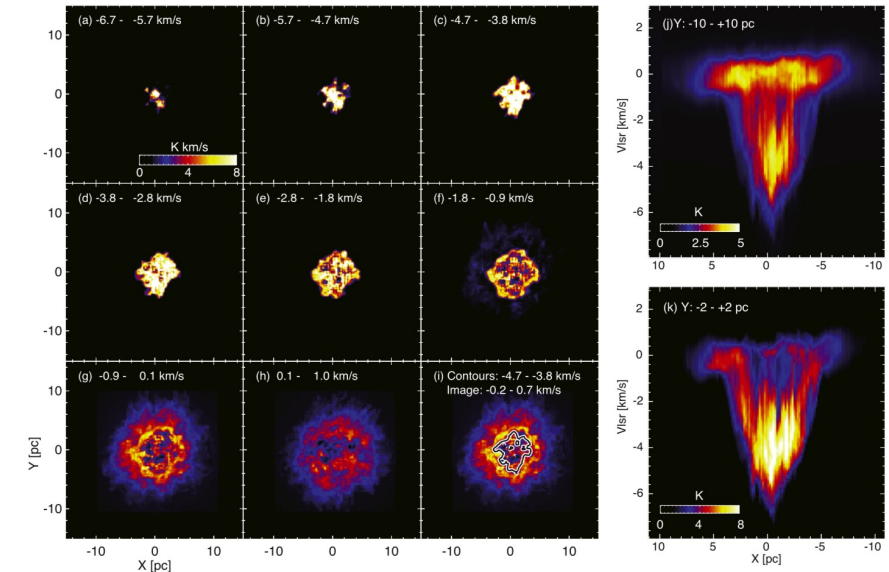
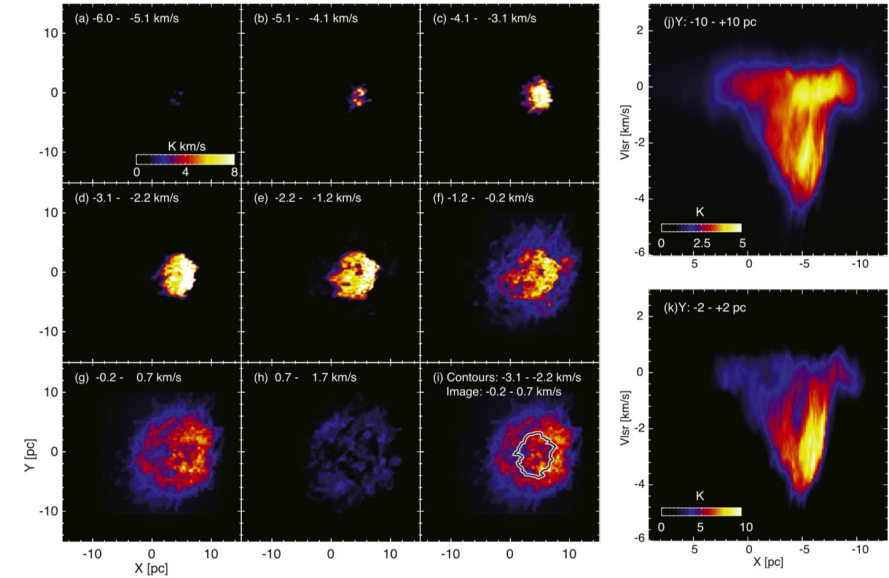


V-shaped gas distributionは分子雲衝突の指標 in (2.4)

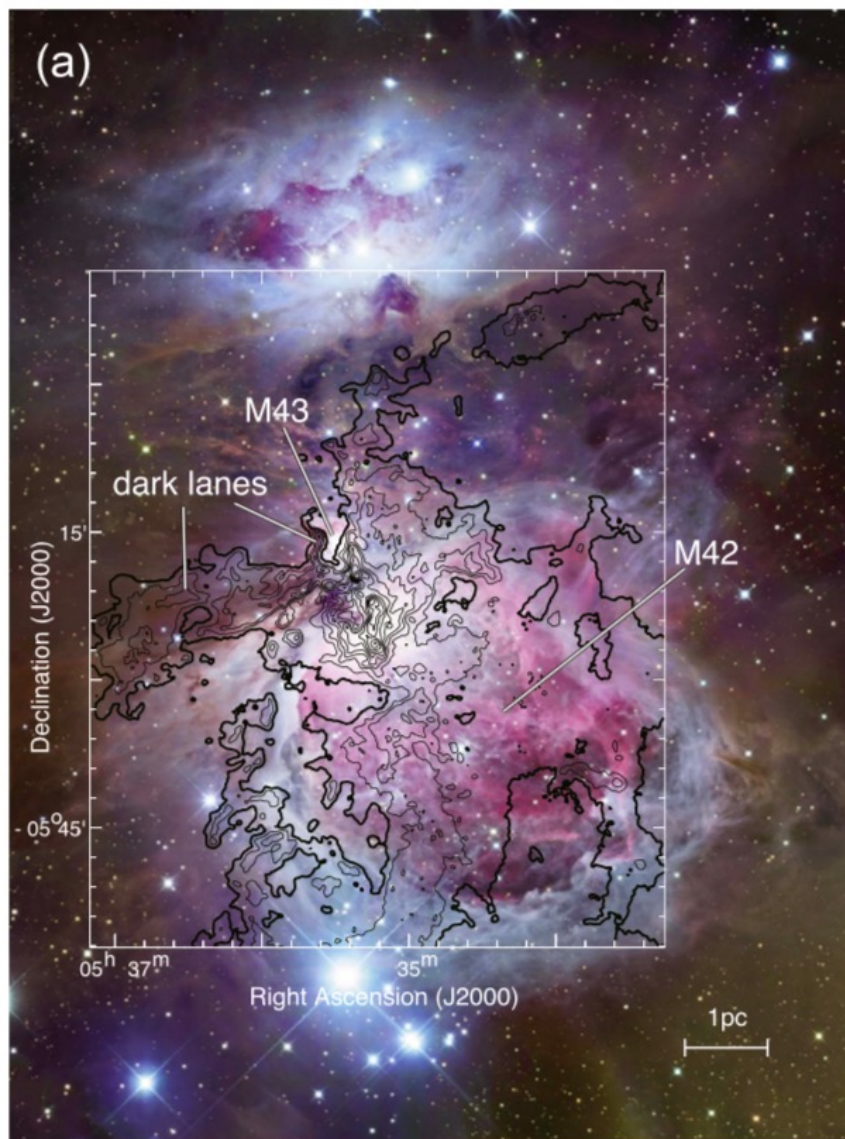


(b)(c) figure5(k)と似てる

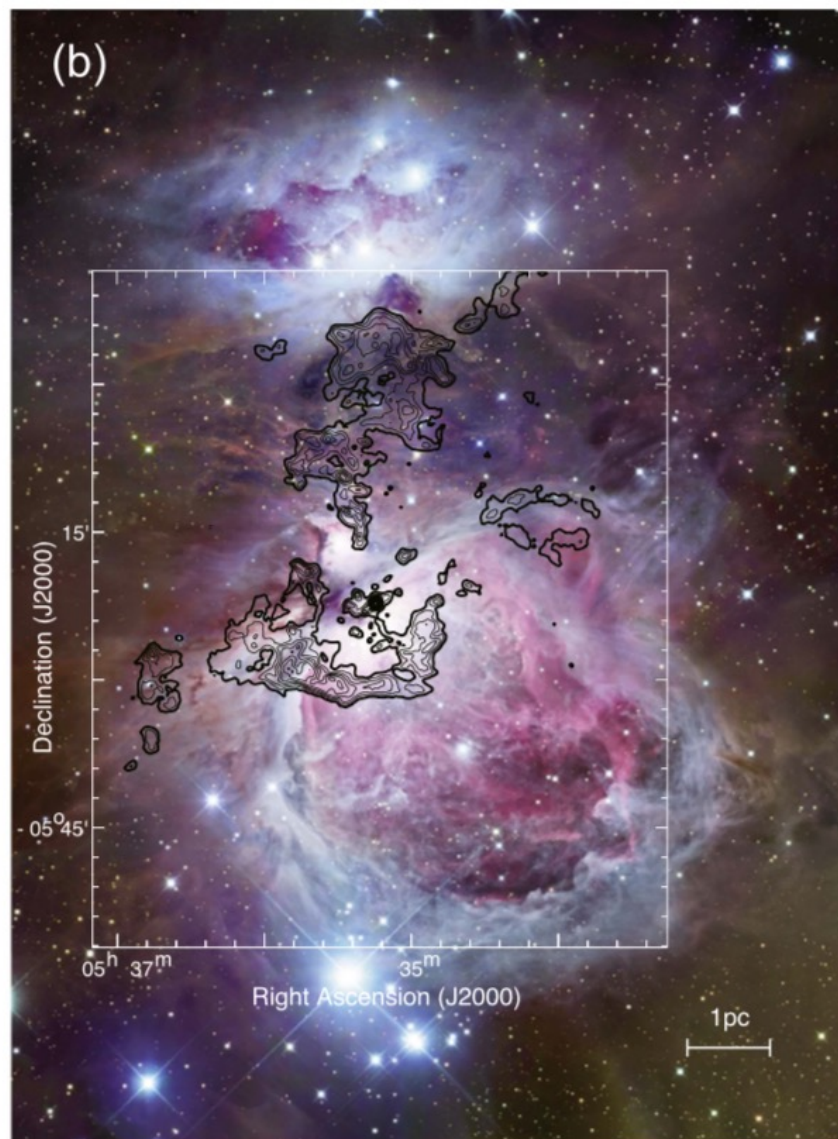
(a) figure4(k)と似てる。



blueshifted



redshifted



M43に

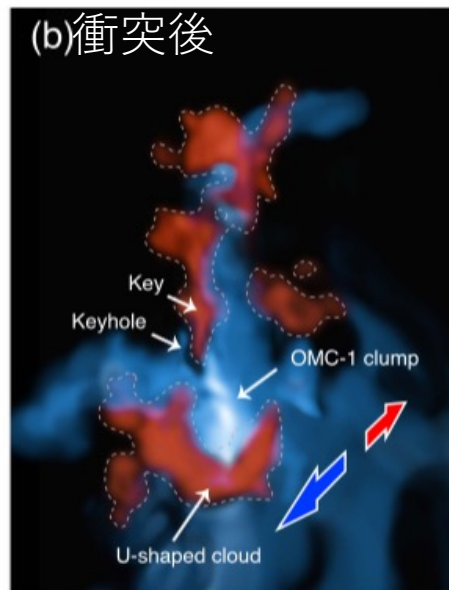
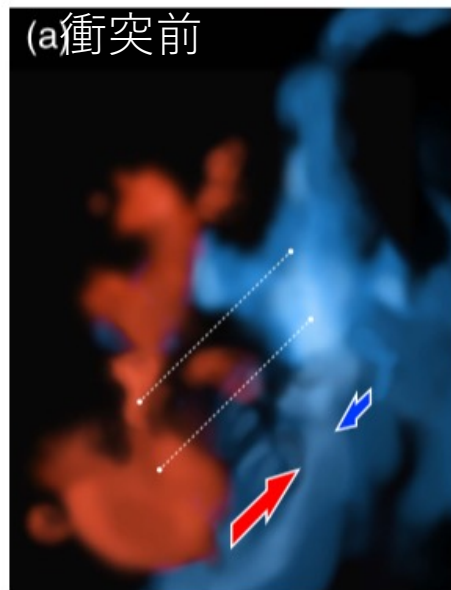
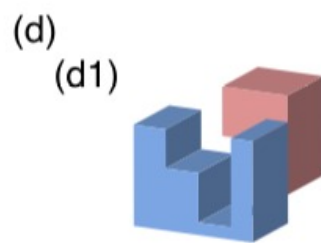
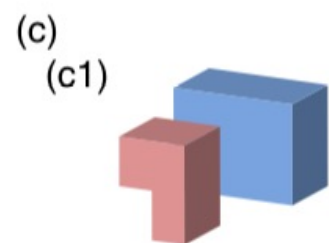


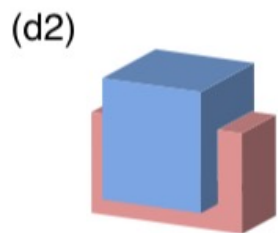
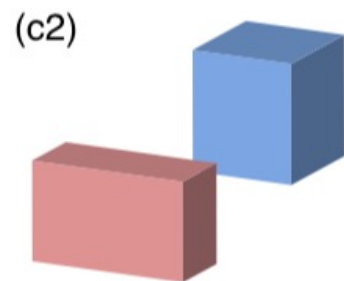
Figure17 :

Table5 : 主な物理量

Parameter	The Blueshifted Cloud	The Redshifted Cloud
Velocity range [km s^{-1}]	4.0–11.1	11.1–14.9
Length [pc]	8.9	4.7
Width [pc]	6.5	3.4
Mass [$M_{\odot}$]	1.5×10^4	3.4×10^3



北部 : key と keyhole

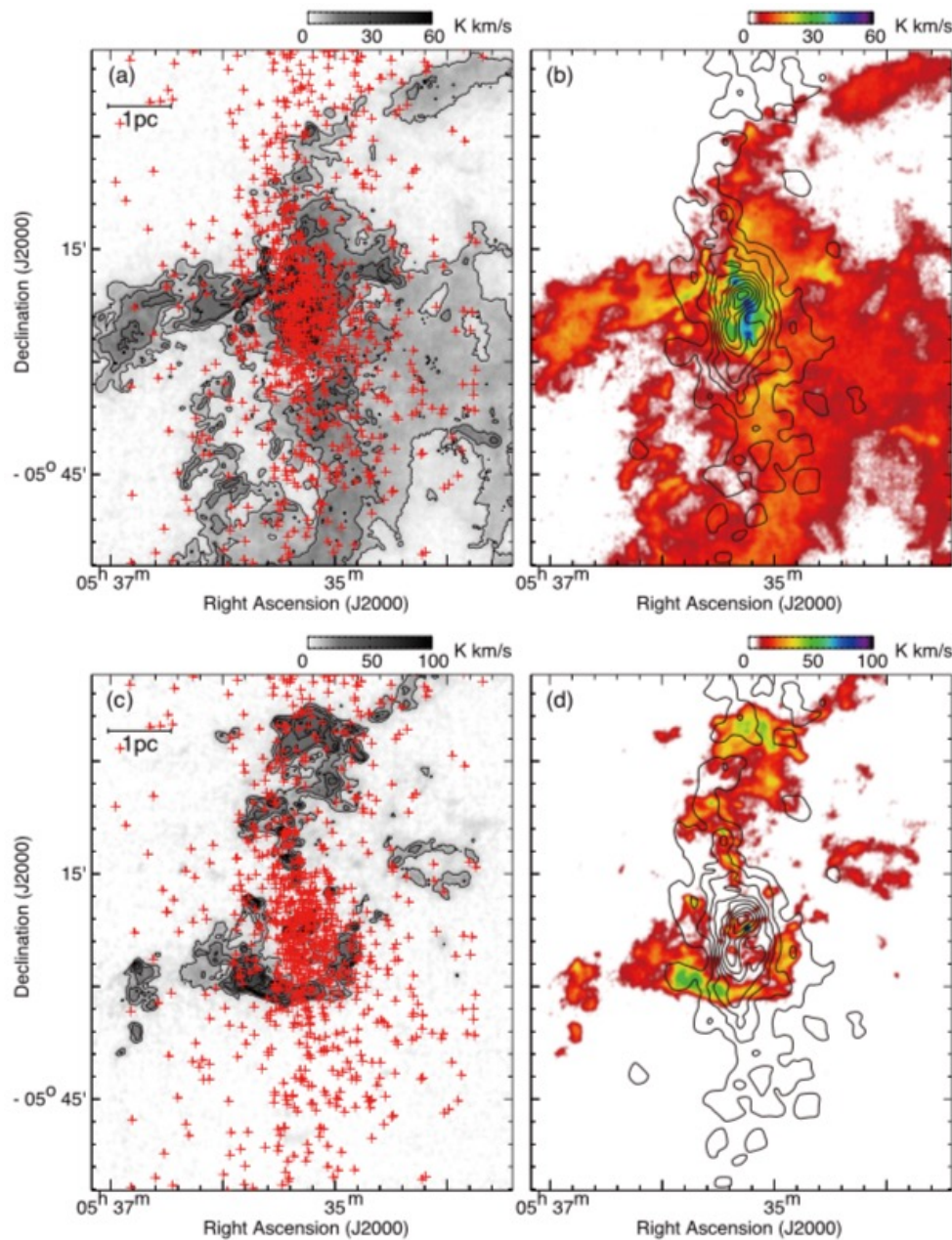


南部 : U-shaped

cross : variable stars(変光星)
(low-mass young star)

color : 12CO(J=1-0) blueshift

color : 12CO(J=1-0) redshift



contour : 変光星の密度分布

low-mass young starの分布は
blueshiftedとよく一致

大質量星の分布よりも空間的
に広がっている

Conclusions

- M42, M43方向の分子雲は二つの速度成分を持つ可能性があることを示した。
blueshifted : 4.0-11.1km/s, 1.5×10^4 太陽質量
redshifted : 11.1-14.9km/s, 3.4×10^3 太陽質量 大きさは4-7pc
interface layerは1000太陽質量
- blueshiftedとredshiftedの分子雲が少なくとも3つの領域(θ^1 Ori, θ^2 Ori, and M43)で相補的な分布(0.1-1pc)であることが分かった。シミュレーションによるとこれは分子雲衝突の証拠である。
- blueshiftedとredshiftedの分子雲が衝突してM42とM43の大質量星が形成されたと考えた。衝突の方向が視線方向に対して45° 傾いていると仮定すると、相対速度は~6km/s, separationは~0.5pcとなる。これより衝突のタイムスケールは~0.1Myrと計算される。
- blueshiftedとredshiftedは~4-7pc広がっているが、大質量星が形成されているのはその中の一部の領域だけである。これは、大質量星が形成されるのはある程度の柱密度以上の方向である(Fukui et al. 2016)という主張と一致する。
- 大質量星とlow-mass starの形成のタイムスケールより、low-mass starは分子雲衝突が起こる前に形成されたと考えられる。