

First observations of the magnetic field inside the Pillars of Creation: Results from the BISTRO survey

KATE PATTLE,^{1,2} DEREK WARD-THOMPSON,¹ TETSUO HASEGAWA,³ PIERRE BASTIEN,⁴ WOJIN KWON,^{5,6} SHIH-PING LAI,^{2,7}
KEPING QIU,^{8,9} RAY FURUYA,¹⁰ DAVID BERRY,¹¹ AND THE JCMT BISTRO SURVEY TEAM

投稿雑誌: ApJL

概要

サブミリ波(850 μ m)の偏光観測: M16 のPillars of Creation

装置: JCMT/SCUBA2 (+POL-2), BISTROサーベイの一環

主な結果:

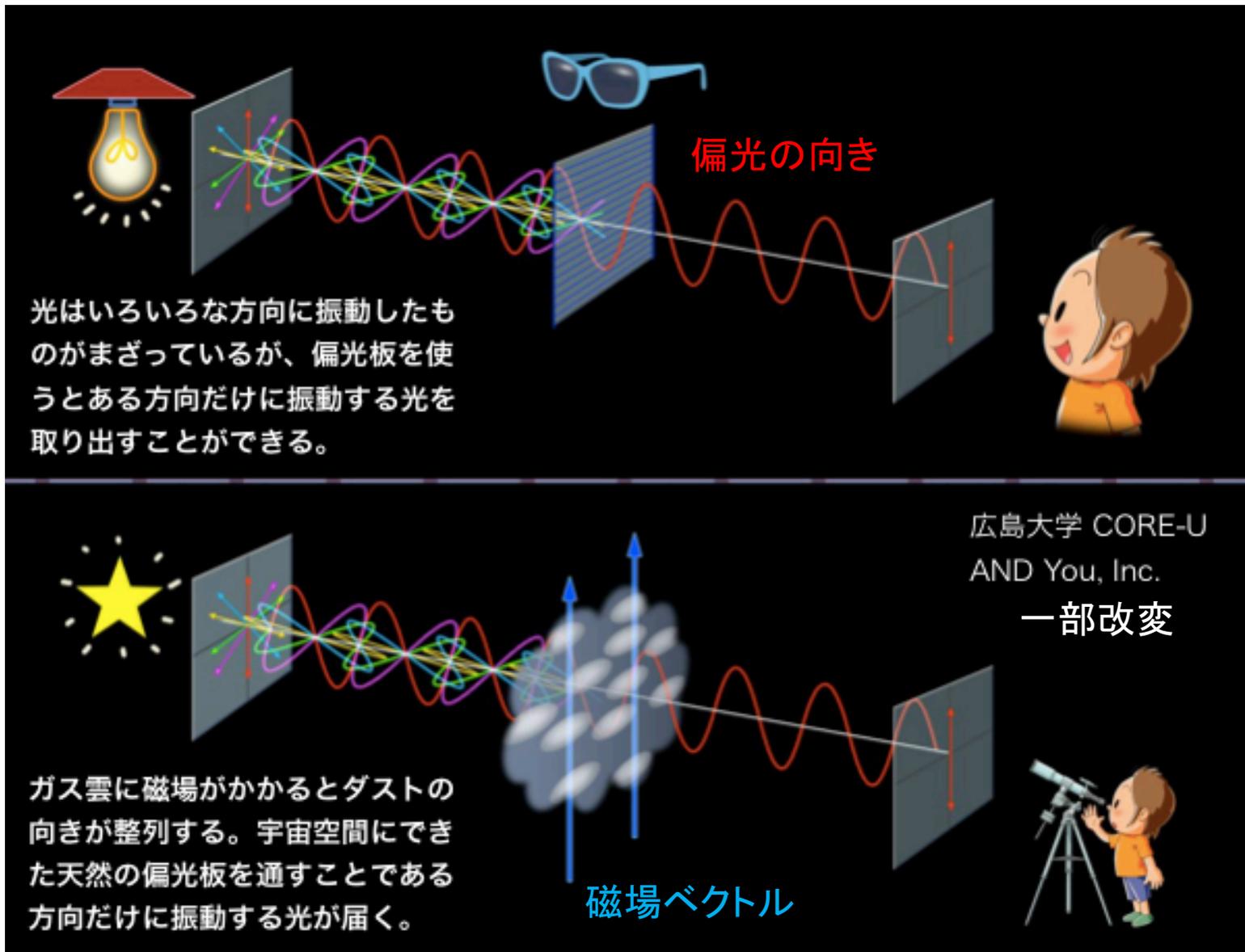
- 磁場の向きはピラーに沿っている
(周囲の磁場ベクトルとは垂直でdecoupleしている)
 - pillarでの磁場強度は170-420 μ G (plane-of-sky)
(チャンドラセカール-フェルミ法より推定)
- => 初期は弱い磁場が圧縮されて形成されたというシナリオと矛盾がない

考察:

磁場がpillar がcometary globuleに進化するのを遅くしているの

Pillar の進化と寿命は、pillar の磁場の強度に対する周囲の光解離クラウドの磁場強度に、強く影響を受ける

=> Pillar の長寿命の理由は磁場によって支えられているから



サブミリ波(ダストからの熱放射)の場合は磁場に垂直な偏光になる

1. Introduction

B-Fields in Star-Forming Region Observations (BISTRO) survey

(Ward-Thompson+17)

- JCMTとPOL-2偏波計を使った星形成領域の磁場観測プロジェクト

大質量星形成と周囲のガスへのフィードバックについて

- 大質量星からのエネルギーで周囲のガスが電離される

衝撃波(Shock)が周囲のガスへ伝搬し複雑な構造が形成される

Pillarの形成メカニズムはあんまよくわからん(White+99, Williams+01)

M16のPillars of creation

- HSTでめっちゃいい感じのイメージがとれた (Hester+96)

- 距離(1.8kpc), 星形成めっちゃしとるよ

- 近赤外の偏光観測でPillarと周囲のガスの磁場の向きが違うとうことが言われていた(Sugitani+07)が、denseな部分はよくわからん

- Pillarの頂上は壊されつつある, 寿命は $<3 \times 10^6$ (McLeod+15)

でも普通(より密度の低い)pillar は $a \text{ few} \times 10^5 \text{ yr}$ なので、

壊されてて、cometaryなglobuleになる見込み

(磁場などによってサポートされていない限り)

3. 結果

- Pillar I, II, ridge はしっかり見えた
- Pillar IIIはmarginal
- 磁場の向きはpillar に沿う
- Pillar IaとIbで向きが変わる

- Hbandの磁場ベクトルの向きは概ね90deg に対して今回はbimodalになっている (Fig.2)

3.1 磁場強度の見積もり

チャンドラセカル-フェルミ法

$$B_{pos} = Q \sqrt{4\pi\rho} \frac{\sigma_v}{\sigma_\theta} \approx 9.3 \sqrt{n(\text{H}_2)} \frac{\Delta v}{\sigma_\theta} \mu\text{G}$$

Pillar II において

170–320 μG (天球方向の磁場)

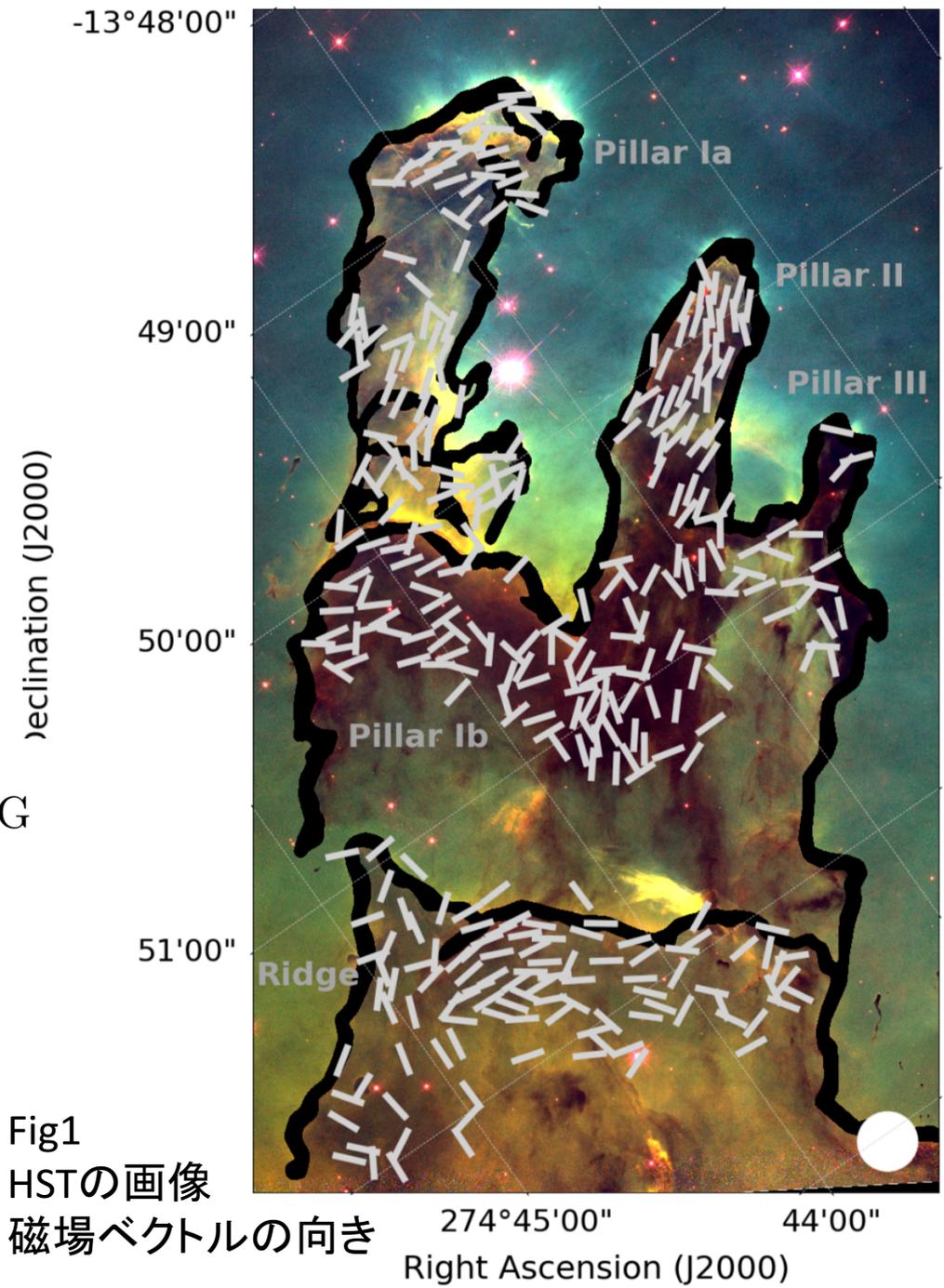
参考値

小質量星形成領域 $\sim 10\mu\text{G}$

(Crutcher12)

大質量星形成領域 $\sim 10^3 \mu\text{G}$

(e.g., Curran & Chrysostomou+07)



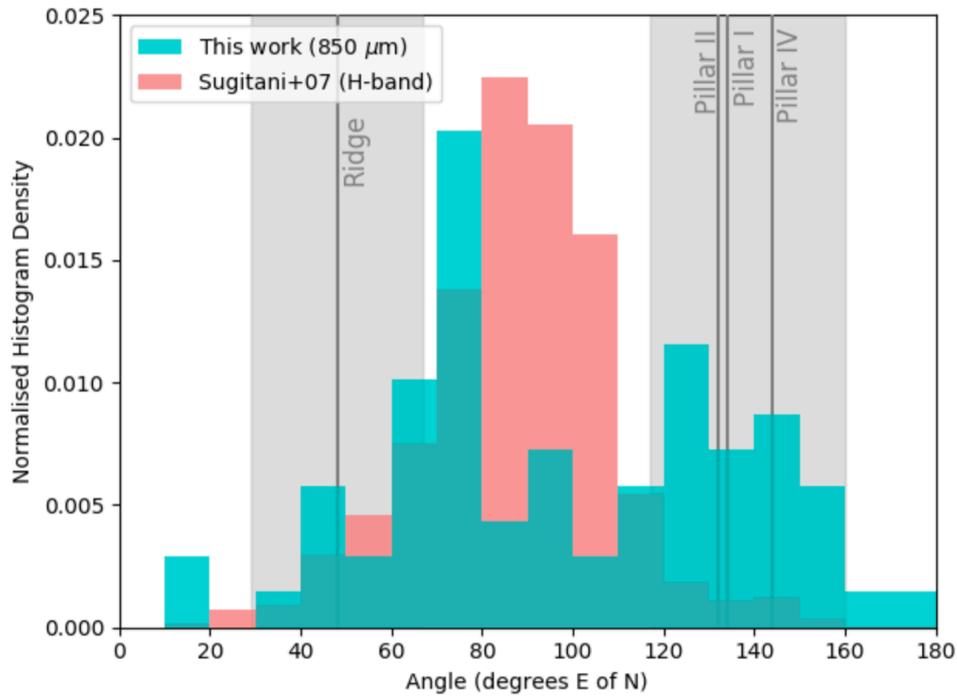


Fig.2: 青 : 850 μm の磁場ベクトルの向き
 赤: H-band で得られた磁場の向き
 グレー: Pillar やridgeの向き
 青は2peakで赤はsingle peak

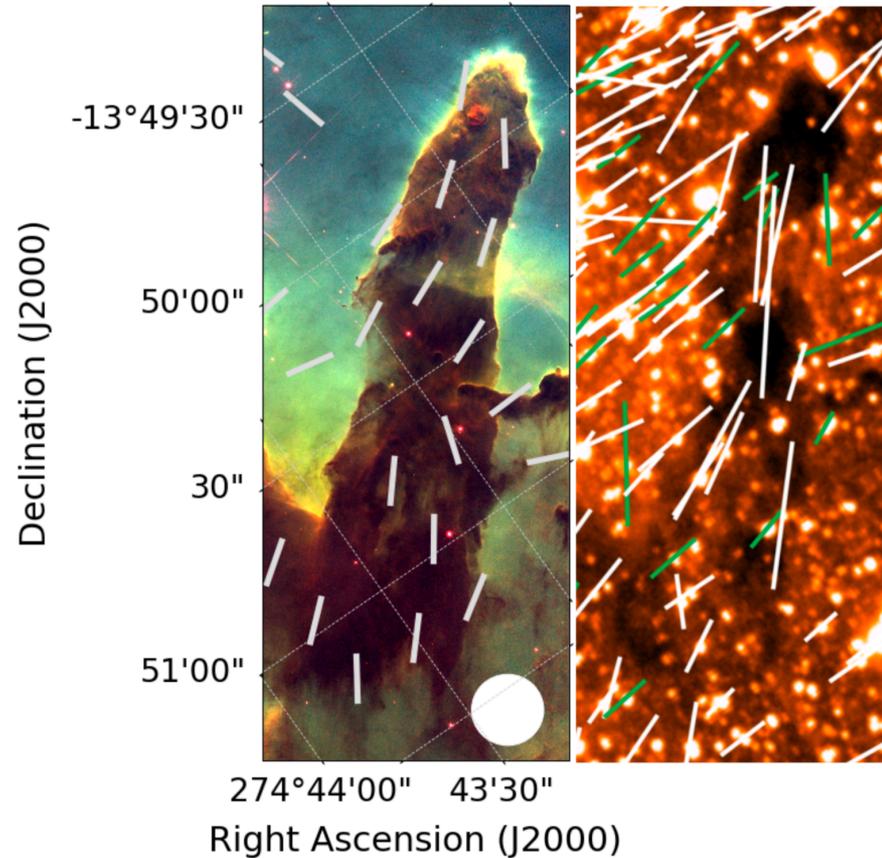


Fig. 3: 左; サブミリ観測
 右: 近赤外(H-band)の観測

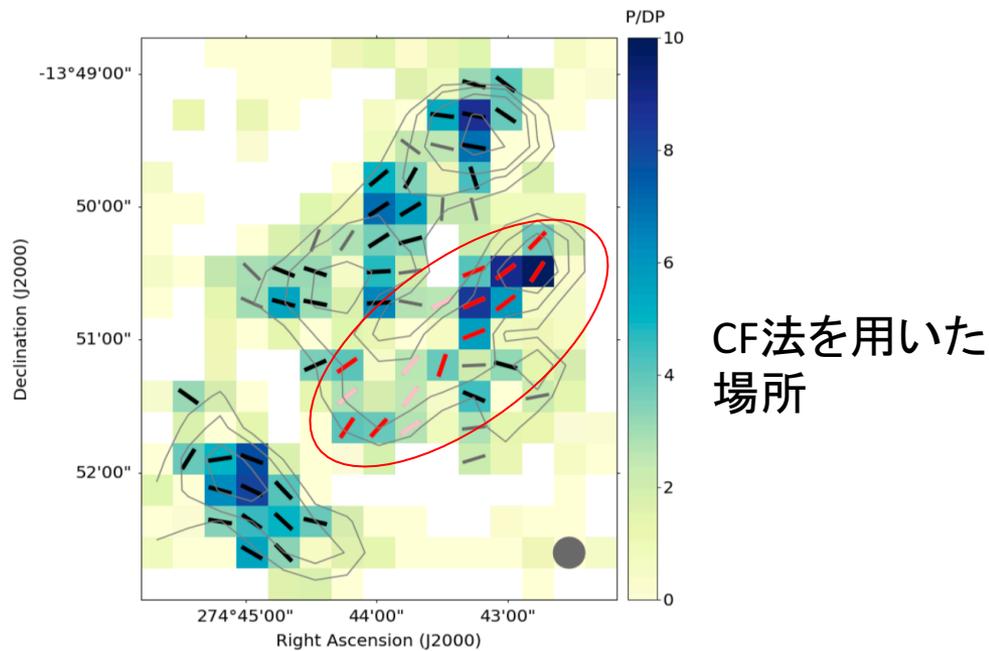


Figure 4. Signal-to-noise in $P/\delta P$, on statistically-independent pixels. Red/pink vectors show pixels included in the CF analysis; black/grey vectors show pixels not included. Pink/grey vectors have $3 > P/\delta P > 2$; red/black vectors have $P/\delta P > 3$; all vectors have $I/\delta I > 10$. Contours show Stokes I values of 50, 100, 200, 500 mJy beam^{-1} . Beam size is shown in lower right-hand corner.

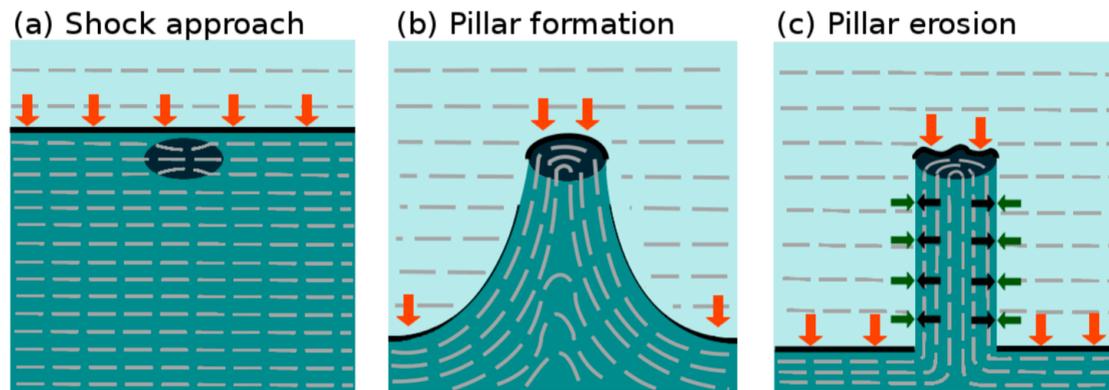


Figure 5. Our proposed evolutionary scenario: (a) an ionization front moving perpendicular to the ambient B-field approaches an existing over-density in the molecular gas. (b) The ionization front is slowed by the over-density. The flux-frozen B-field ‘bows’ into the forming pillar. (c) The compressed B-field supports the pillar against radial collapse, but cannot support against longitudinal erosion by the shock interaction. Dark blue represents molecular gas; light blue represents ionized material; black line indicates the shock front. Grey dashed lines indicate local B-field direction. Red arrows represent photon flux/ablation pressure, black arrows represent magnetic and internal gas pressure, and green arrows represent confining gas pressure, possibly supplemented by ram pressure.

Gaia DR2 reveals a very massive runaway star ejected from R136

D.J. Lennon¹, C.J. Evans², R.P. van der Marel^{3,4}, J. Anderson³, I. Platais⁴, A. Herrero^{5,6}, S.E. de Mink⁷, H. Sana⁸, E. Sabbi³, P.A. Crowther⁹, N. Langer¹⁰, M. Ramos Lerate¹¹, A. del Pino³, M. Renzo⁶, S. Simón-Díaz^{5,6}, and F.R.N. Schneider¹²

投稿雑誌: A&A

概要

先行研究: タランチュラ星雲でO2 III 型星(VFTS16)がrunaway starとして同定
分光観測による視線方向上の速度の測定

観測:
Gaia DR2 カタログでVFT16と近傍の星のproper motion (固有運動)を測定
中心のclusterであるR136からdynamical ejectionによってejectされたかどうか調べたい

結果
固有運動 $0.338 \pm 0.046 \text{ mas yr}^{-1}$, 速度: $80 \pm 11 \text{ km s}^{-1}$
=>R136から $1.5 \pm 0.2 \text{ Myr}$ 前にejectされたと考えて矛盾がない
clusterが形成された時とほぼ同時期
しかし、VFT16の年齢(文献値)は $\sim 0.9 \text{ Myr}$ よりは大きくない
この天体の普通でない進化の歴史を示しているのかもしれない(merger product?)

もう一個面白いrunaway starを見つけた VFTS 72 (O2 III-V(n)(f*))
proper motion ($0.392 \pm 0.062 \text{ mas yr}^{-1}$ or $93 \pm 15 \text{ km s}^{-1}$) R136から1Myr前にejectされた
2つの $\sim 100 \text{ Mo}$ のrunaway star, 速度は $\sim 100 \text{ km/s}$
VFT16はR136からejectされたので、この事実はR136の年齢に強い制限を与える($\sim 1.3 \text{ Myr}$)

1. Introduction

Dynamical ejection from young massive cluster

100 M_{\odot} 以上の孤立した星が若い massive クラスタ (R136, Westerlund 2) は存在しており、これは dynamical ejection で出てきたと考えられる。

他の isolated massive star formation scenario

- Binary supernova ejection scenario (Blaauw 61) は違う、若いので

- 小さい分子雲から生まれる

(Parler & Goodwin+07; Bressert+12; Lamb+16, Harada+ in prep.)

ただし、視線方向の速度で変なやつがいるので、

これはきっと dynamical ejection だろう!

典型的な例 (proto-typical example): VST16

質量 $\sim 100 M_{\odot}$, OIII, タランチュラ星雲 30dor (Evans+11)

中心のクラスタ R136 から 投影 (projection) 距離 120 pc

R136 との視線方向の速度差 $\Rightarrow -85 \text{ km/s}$

1. Introduction

Dynamical ejection from young massive cluster

100 M_{\odot} 以上の孤立した星が若い massive クラスタ (R136, Westerlund 2) は存在しており、これは dynamical ejection で出てきたと考えられる。

他の isolated massive star formation scenario

- Binary supernova ejection scenario (Blaauw 61) は違う、若いので

- 小さい分子雲から生まれる

(Parler & Goodwin+07; Bressert+12; Lamb+16, Harada+ in prep.)

ただし、視線方向の速度で変なやつがいるので、

これはきっと dynamical ejection だろう!

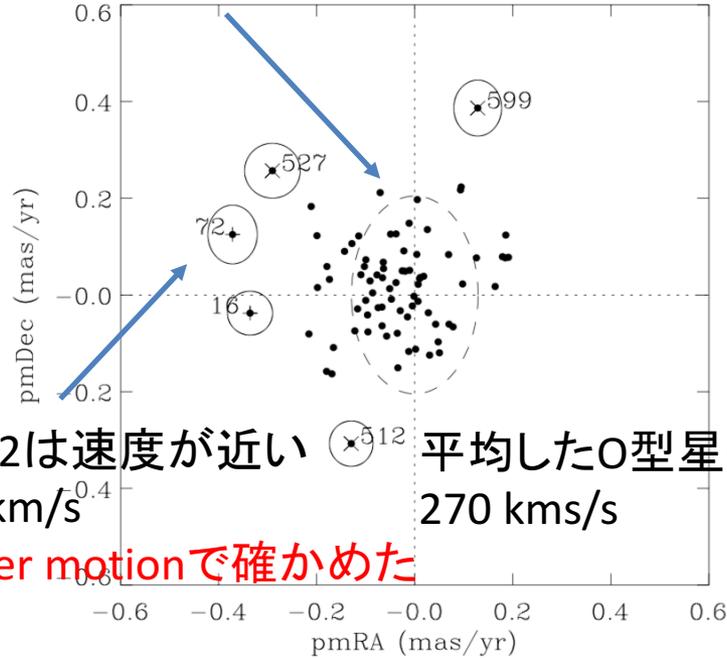
典型的な例 (proto-typical example): VST16

質量 $\sim 100 M_{\odot}$, OIII, タランチュラ星雲 30dor (Evans+11)

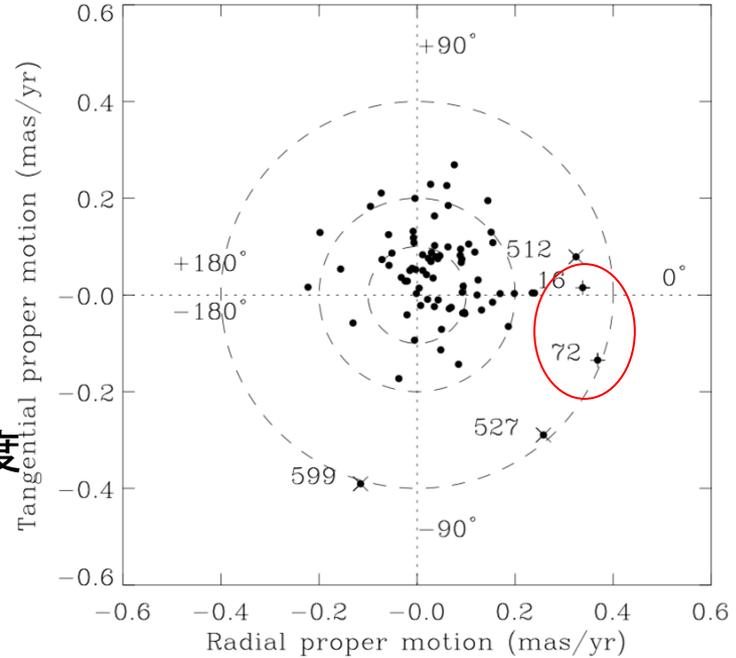
中心のクラスタ R136 から 投影 (projection) 距離 120 pc

R136 との視線方向の速度差 $\Rightarrow -85$ km/s

ちょっとマイナスによっているのはNGC2060のせい



Gaiaのサンプルをもっとよくしたら、内側の星もrunaway starとして同定できそう



VST72は速度が近い
273 km/s
平均したO型星の速度
270 kms/s
Proper motionで確かめた

Fig. 2. Relative proper motions ($0.1 \text{ mas yr}^{-1} \approx 25 \text{ km s}^{-1}$) for the 79 O-type VFTS stars in 30 Doradus that have proper motion errors less than 0.07 mas yr^{-1} . VFTS 16 and 72 are labelled (marked with +), as are three additional outliers (marked with \times) that are discussed briefly in the text. The left-hand figure (a) is the standard proper motion diagram with the error ellipses indicated for these 5 stars, though for clarity the ellipses for the full sample are omitted. The inner dashed ellipse denotes the velocity dispersion of the local reference frame around R136/NGC2070 sample discussed in section 2.2. In the right-hand figure (b) we show a polar plot of the radial and tangential components relative to the direction from R136, concentric circles denoting relative proper motions of 0.1, 0.2 and 0.4 mas yr^{-1} . In this diagram the positive x-axis, 0° , denotes a direction radially outward from R136, with positive angles indicating that the tangential component is counterclockwise with respect to the position angle of the star relative to R136.

HSTでも確かめたけど(Platais+18)

VFTS16はサチってた, VFST72はfiled 外

でも最近サチってるやつでもproper motion が確認 (Anderson+18, priv. comm.)

Table 1. Properties of the candidate runaway O2 stars. Relevant stellar parameters in the upper section of the table are from the VFTS as indicated, while in the lower section we give the *Gaia* source identifier, relative proper motion components, position angle of proper motion (PA_{pm}), distance in projection to R136 (d_{R136}) in arcsec, and position angle (PA_{R136}) of source with respect to R136 (East of North) in degrees, and time of flight t_{R136} from R136, calculated simply as $d_{\text{R136}}/(\text{rel. pm})$.

	VFTS 16	VFTS 72
Spectral Type ^a	O2 III	O2 III-V(n)((f*)
T_{eff}^b (K)	$50\,600^{+500}_{-590}$	$54\,000 \pm 1500$
Current Mass ^b (M_{\odot})	$91.6^{+11.5}_{-10.5}$	$97.6^{+22.2}_{-23.1}$
Age ^b (Myr)	0.7 ± 0.1	$0.4^{+0.8}_{-0.4}$
$v \sin i^c$ (km s ⁻¹)	112 ± 30	185 ± 30
v_{LOS}^d (km s ⁻¹)	189.2 ± 1.2	273.4 ± 1.9
<i>Gaia</i> Source id	4657690620070706432	4657698454092124416
rel. pmRA (mas yr ⁻¹)	-0.336 ± 0.046	-0.372 ± 0.050
rel. pmDec (mas yr ⁻¹)	-0.038 ± 0.045	$+0.125 \pm 0.061$
PA_{pm}	$-96^{\circ+7}_{-10}$	$-71^{\circ+11}_{-11}$
PA_{R136}	-99°	-51°
d_{R136} (arcsec)	506	370
rel. pm (mas yr ⁻¹)	0.338 ± 0.048	0.392 ± 0.062
tangential speed (km s ⁻¹) ^e	80 ± 11	93 ± 15
3D speed ^f (km s ⁻¹)	112 ± 8	93 ± 15
t_{R136} (Myr)	1.50 ± 0.21	0.94 ± 0.15

Notes. ^(a) Walborn et al. (2014) ^(b) Schneider et al. (2018) but see the Sect. 3 ^(c) Ramírez-Agudelo et al. (2013) ^(d) Sana et al. (2013) ^(e) Assuming a distance to the LMC of 50.1 kpc ^(f) We adopt 267.7 km s^{-1} as the *LOS* velocity of R136 from Hénault-Brunet et al. (2012)

t_{R136} はR136からejectionされたからの時間(減速は考えていないので、lower limit)
=>VFTS 16 t_{R136} はR136 の年齢とconsistent
Schneider+18 は年齢を0.7 Myrと見積もっている

VFTS 72の年齢は0.4 (+0.8, -0.4) Myrであるが、不定性の範囲でconsistent

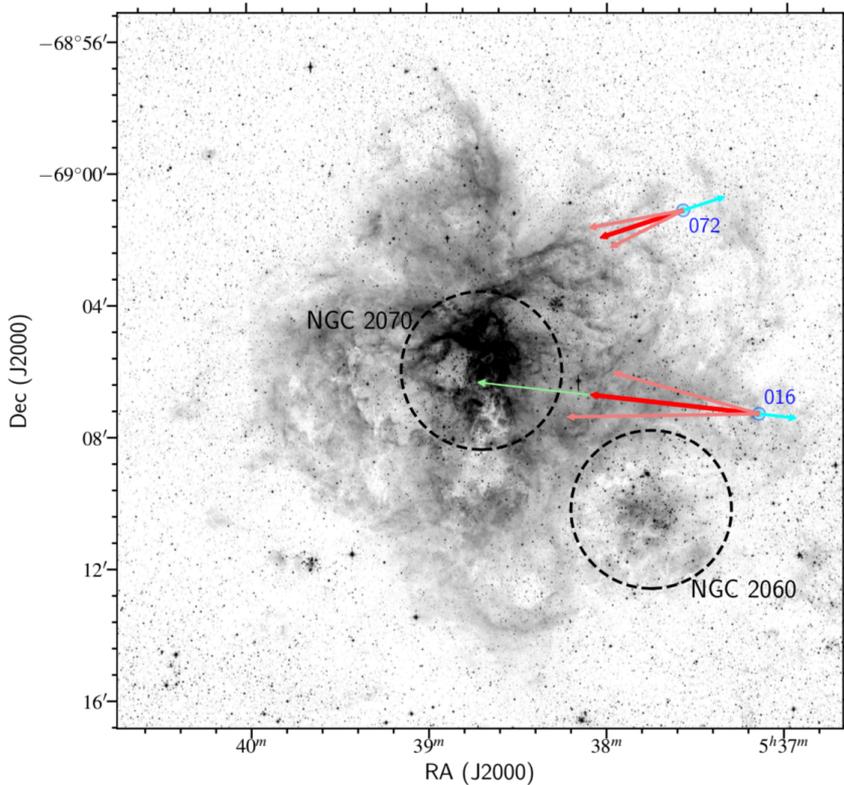


Fig. 3. The magenta arrows illustrate the proper motions of VFTS 16 and 72 relative to the cluster R136, that resides within the centre of the association NGC2070. The lengths of the arrows are scaled to their tangential proper motions. Red arrows indicate the projections of these stars' proper motions backwards in time, scaled to their ages, and their approximate opening angles. The green arrow denotes the distance the star would cover to R136. The other major grouping of O-type stars in this region, NGC2060, is also indicated.

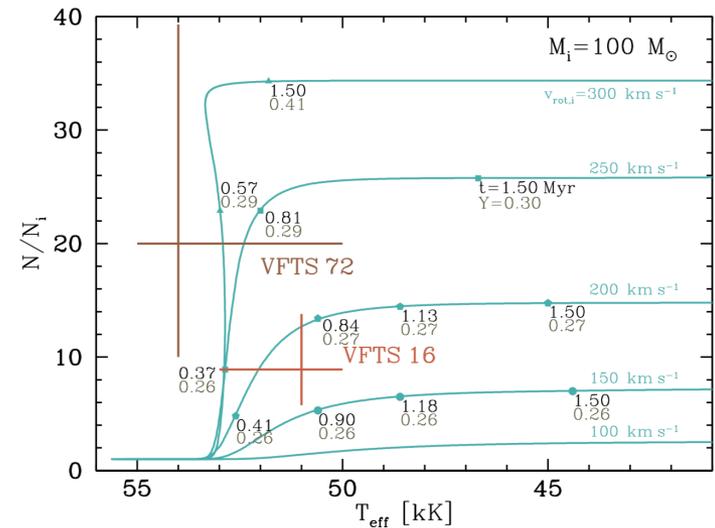


Fig. 4. In this figure we illustrate the positions of VFTS 16 and 72 in the surface nitrogen enrichment versus effective temperature diagram, superimposed on the evolutionary tracks of Kohler et al. (2015) for LMC metallicity. The tracks are labelled with their initial rotational velocity, with time-steps indicated along with surface helium abundance. Since O2 dwarfs and giants typically have $T_{\text{eff}} \gtrsim 50\,000$ K one can see that for such a star to have an age of ~ 1.5 Myr it would be significantly more nitrogen rich than is derived for VFTS 16, and it should be helium rich (also not inferred from the observations).

なんでVST16が若く見積もられている?

- Ejected binary が合体した姿
- Stellar merger は星を若返らせる (Schneider+16; de Ming+14)

色々考えてみたけど、VSTF16の年齢をR136からのflight timeで考え直すのは難しいね!