

南極30mテラヘルツ望遠鏡で探る フィラメント形成



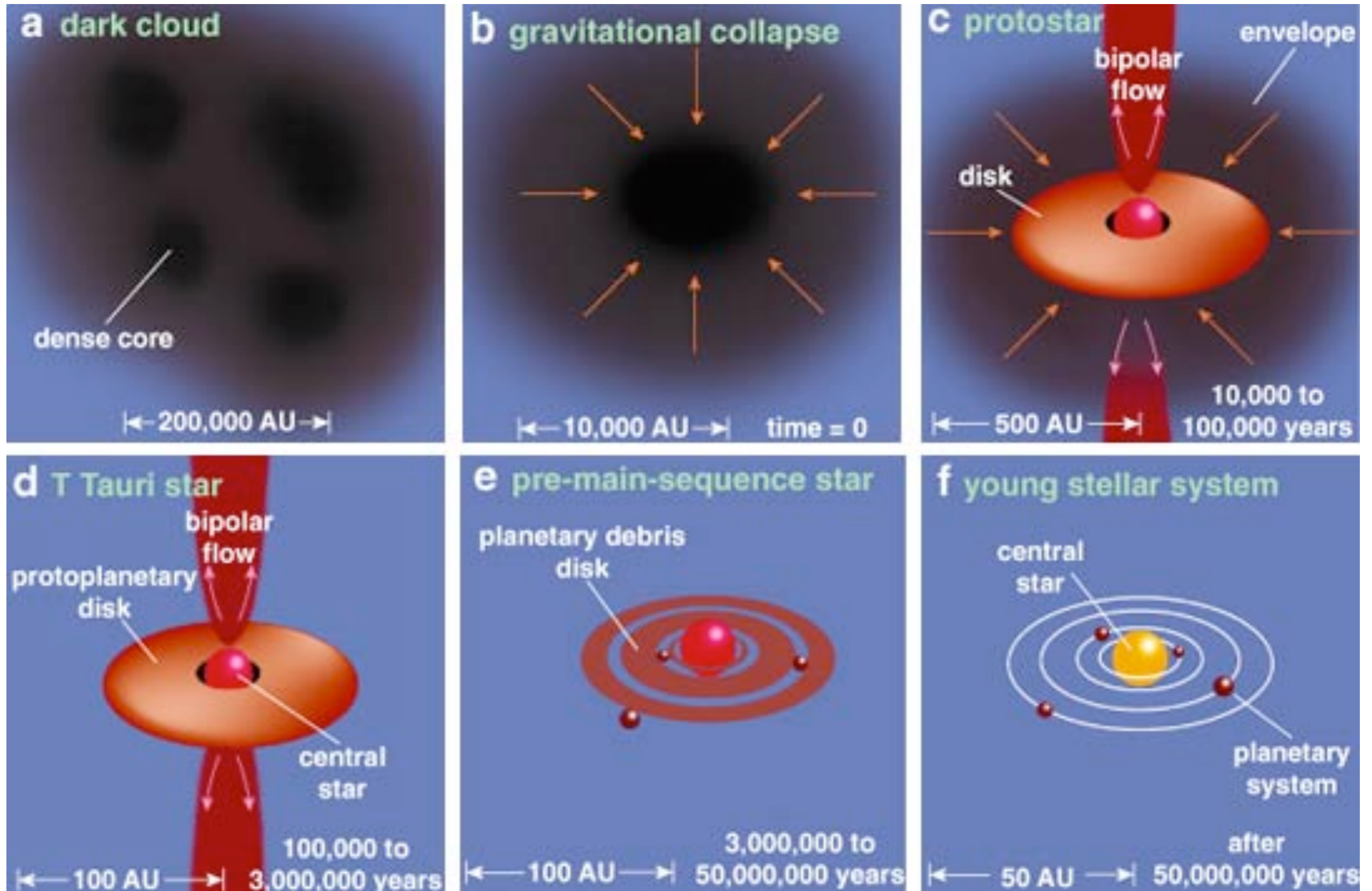
大質量星形成領域における

島尻芳人 (CEA/Saclay, )

[目次]

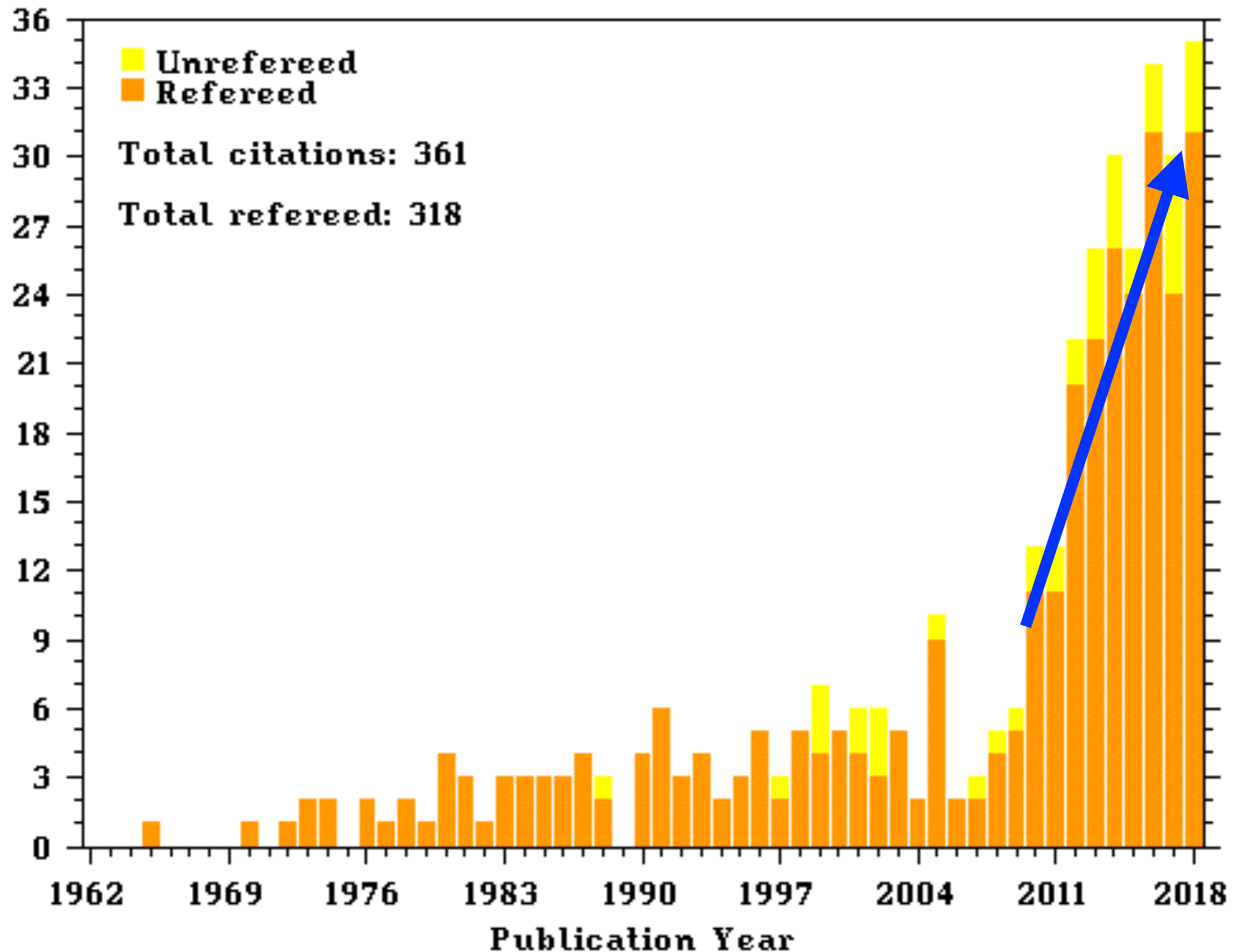
1. 低質量星形成領域によるフィラメント形成
2. フィラメント形成の研究に要求されるスペック
3. 大質量星形成領域におけるフィラメントの観測
4. 南極30mテラヘルツ望遠鏡で探るフィラメント形成
5. [宣伝]NIKA2/IRAM30m (1mm,2mm, pol)
6. 偏波観測@南極30mテラヘルツ望遠鏡

星形成シナリオ

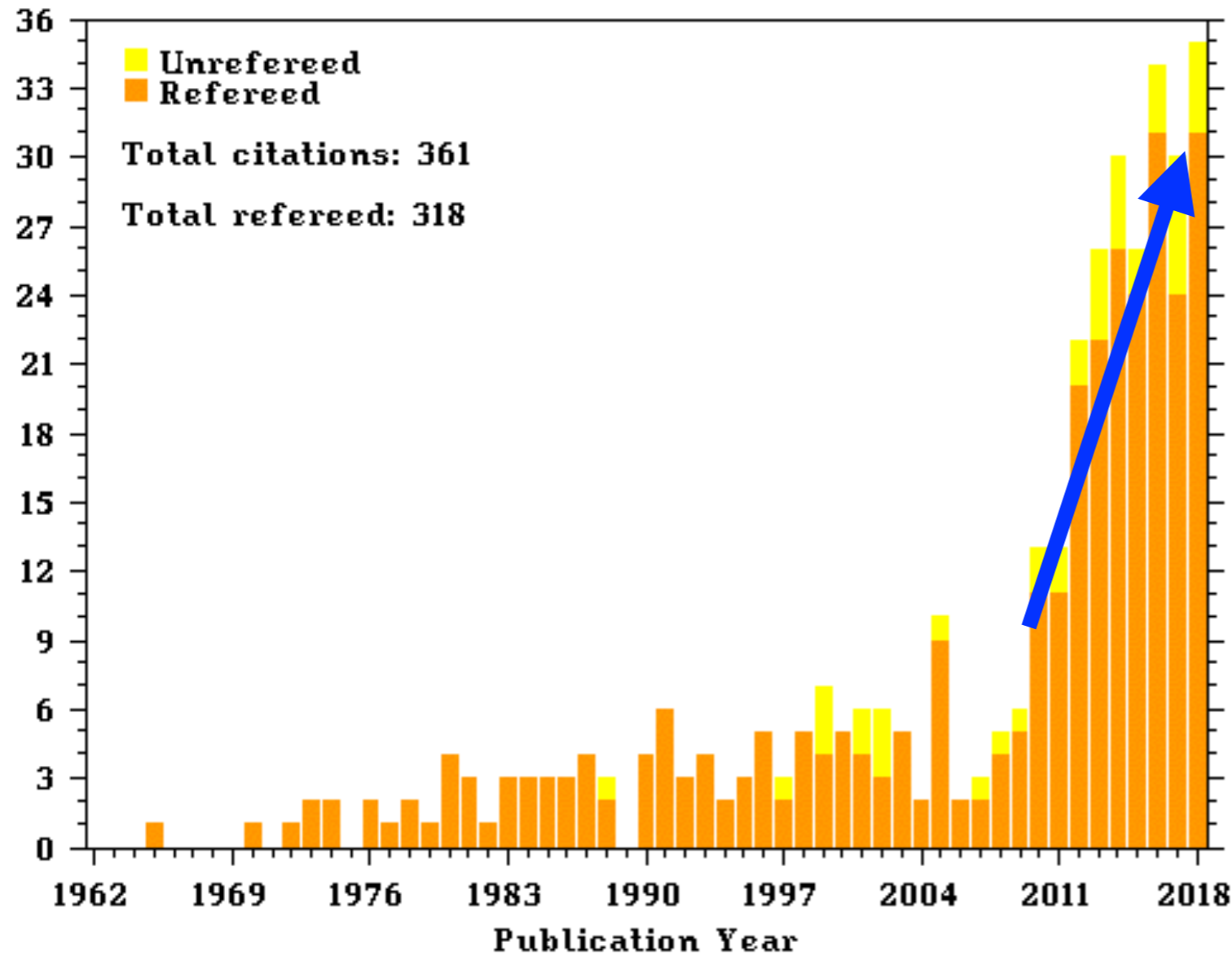


2010年頃、星形成業界に何か起きた!?

とある星形成に関する論文の引用数(2018/9/6現在)



2010年頃、星形成業界に何か起きた!?



1056003111056003111

THE EQUILIBRIUM OF POLYTROPIC AND ISOTHERMAL CYLINDERS

J. OSTRIKER*
 Yerkes Observatory
 Received April 21, 1964

ABSTRACT

Infinite self-gravitating cylinders with pressure and density related by the equation $P = \text{constant } \rho^{1+1/n}$ are considered; the purpose is to find the equilibrium distributions of pressure, density, and gravitational potential. Solutions in closed form are obtained for $n = 0$ (liquid), $n = 1$, and $n = \infty$ (isothermal perfect gas). It is proved that for all $0 \leq n < \infty$ the mass per unit length and the radius are finite; for $n = \infty$ the mass per unit length is finite, but the radius is not. Graphical and tabular material is included showing the run of density with radius, and the variation of radius, mass per unit length, and half-radius (radius within which half the mass is contained) as a function of polytropic index n .

I. INTRODUCTION

Gaseous rings occur in a variety of astronomical contexts. Previous workers (cf., in particular, Randers 1942) have pointed out that infinite cylinders provide the first term of a natural series expansion in which one may develop the theory of the equilibrium of such rings. However, in their detailed considerations, Randers and his predecessors restricted themselves to incompressible cylinders and rings. For a theory of gaseous rings, under the less restrictive assumption of polytropic or isothermal equilibrium, the theory of self-gravitating cylinders, with an underlying equation of state

$$P \propto \rho^\mu$$

provides a natural starting point. In this paper the equilibrium theory of such cylinders is developed; the extension to rings is considered in a following paper. Knowledge of polytropic and isothermal cylinders may also prove useful in other applications, e.g., in the study of gaseous filaments or of spiral arms, where it would provide less idealized models than some which have been considered in the past.

On the formal side, the theory follows the classical expositions on polytropic and isothermal gas spheres by Emden (1907) and Chandrasekhar (1938); on this account the theory need not be set out in too great detail.

II. POLYTROPIC CYLINDERS

a) The Equations of Equilibrium

The equation of hydrostatic equilibrium is

$$\nabla \mathfrak{B}^i = \frac{1}{\rho} \nabla P, \quad (1)$$

where \mathfrak{B}^i is the gravitational potential within the cylinder and P and ρ are the pressure and the density. As stated in the Introduction, we shall suppose that

$$P = K_n \rho^{1+1/n} \quad (2)$$

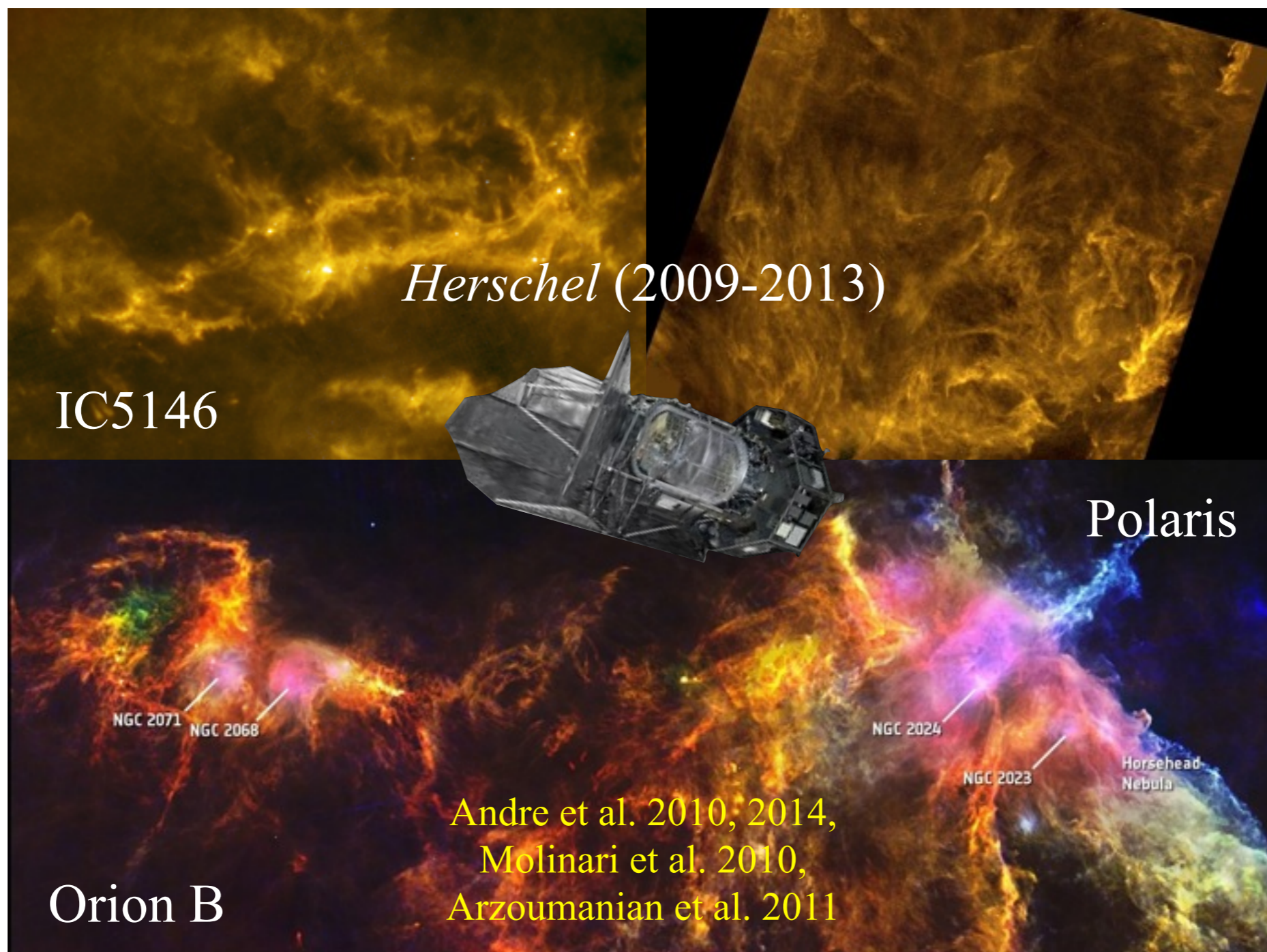
where K_n and n are given constants. Such a relation can represent a broad spectrum of different possible conditions: $n = 0$ represents a homogenous liquid, $n = \frac{3}{2}$ a monatomic

* National Science Foundation graduate fellow 1963, 1964.

1056

Ostriker, J, ApJ, 1964, 140, 10560

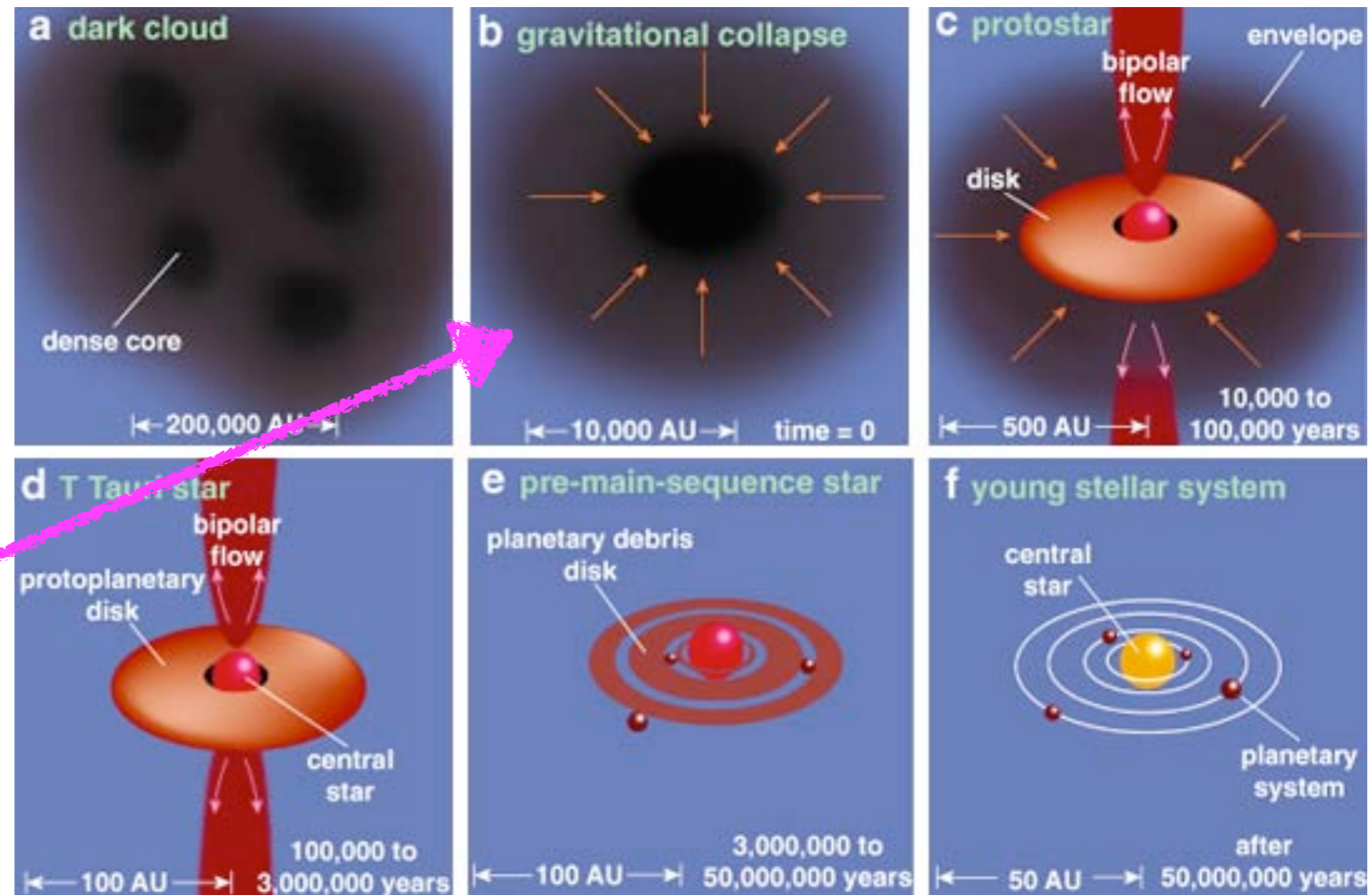
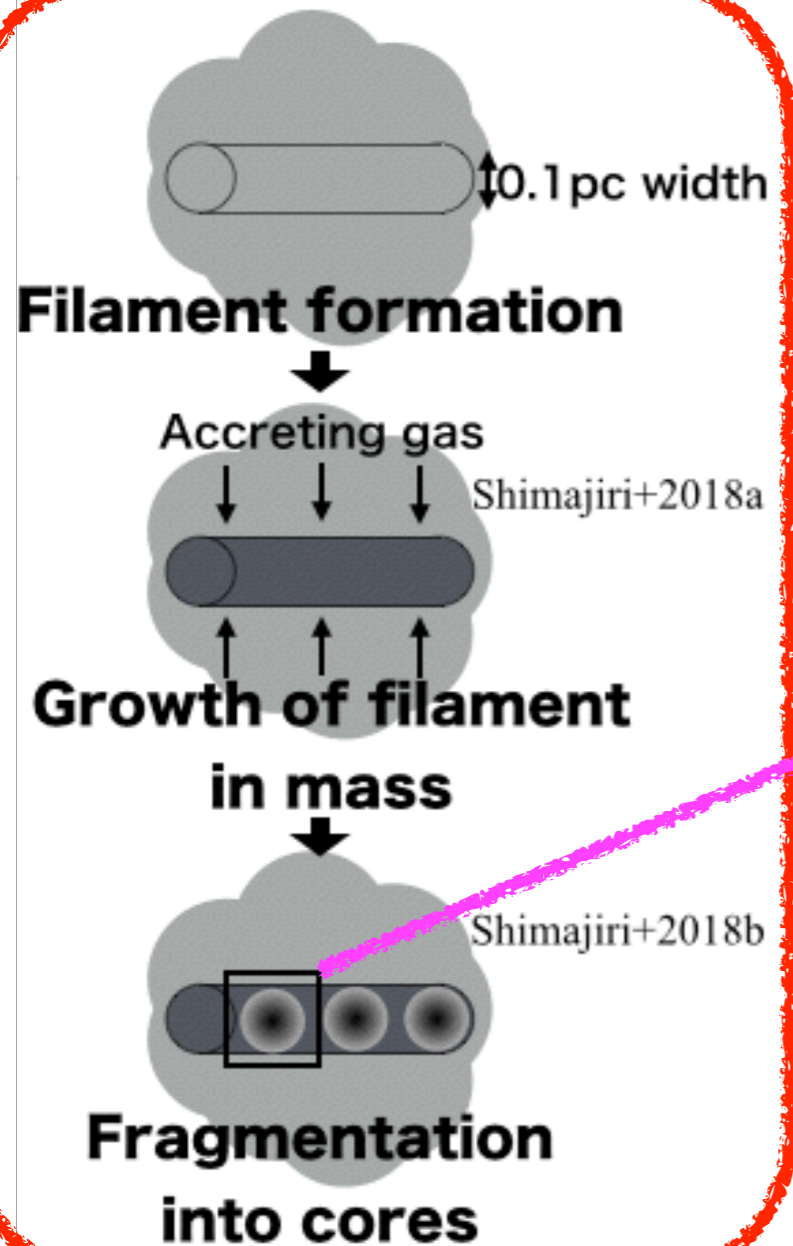
低質量星領域におけるフィラメント形成シナリオ -フィラメント構造の普遍性-



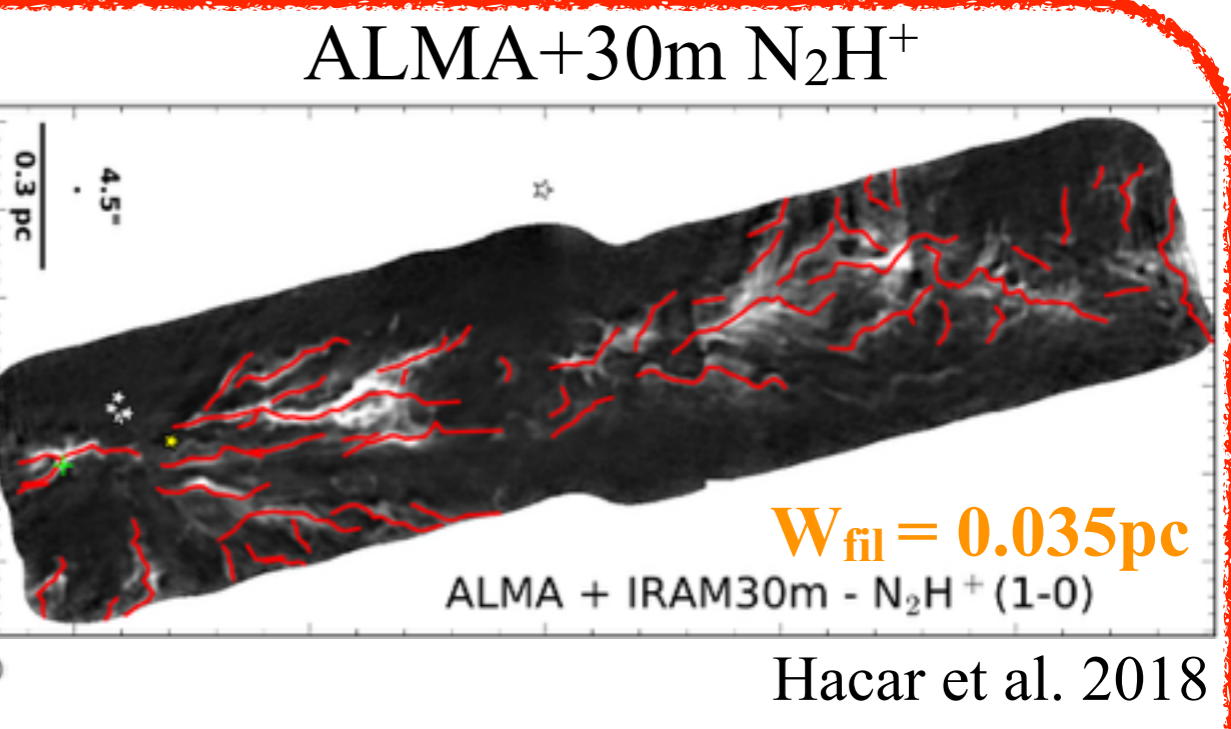
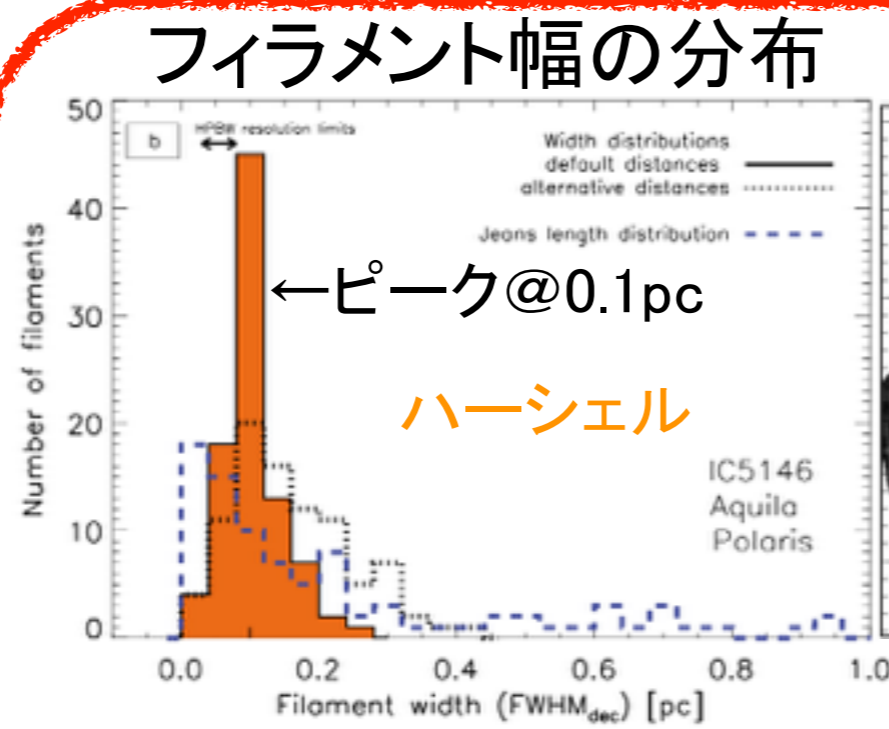
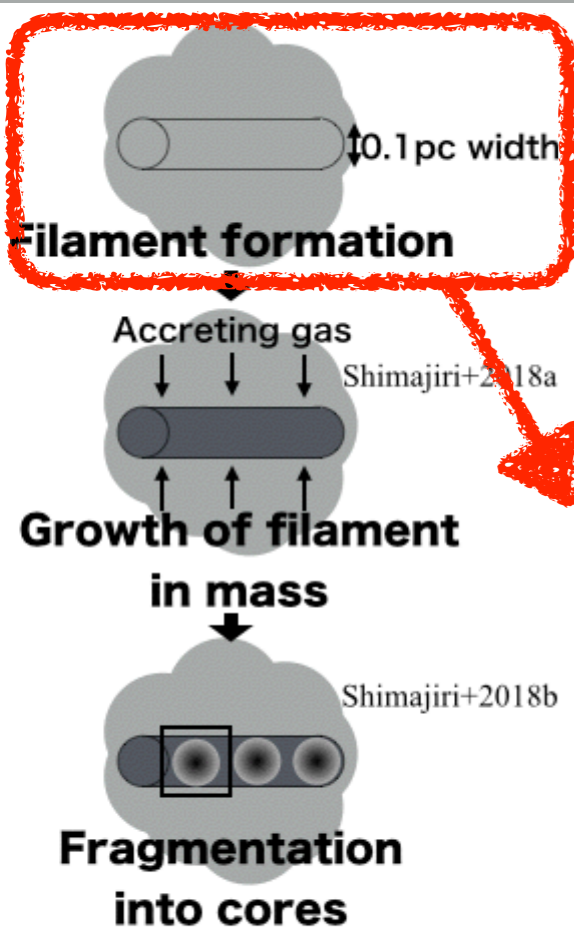
ハーシェル宇宙望遠鏡による
近傍星形成領域 (<500pc) の観測の結果、
至る所でフィラメント状の構造が検出された。

低質量星領域におけるフィラメント形成シナリオ -フィラメント形成シナリオ-

ハーシェルの結果等から
提唱されている
フィラメント形成シナリオ



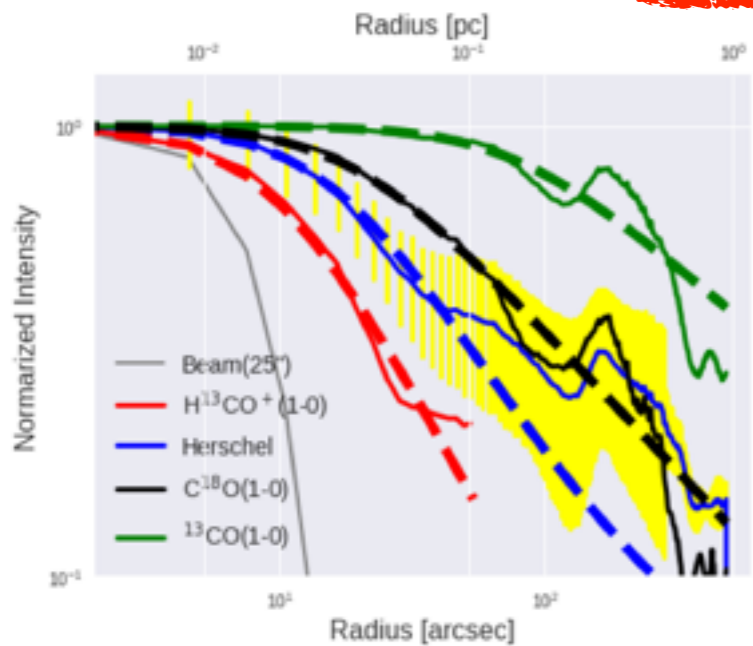
低質量星領域におけるフィラメント形成シナリオ -フィラメント幅の普遍性-



Arzoumanian et al. 2011, 2018

Hacar et al. 2018

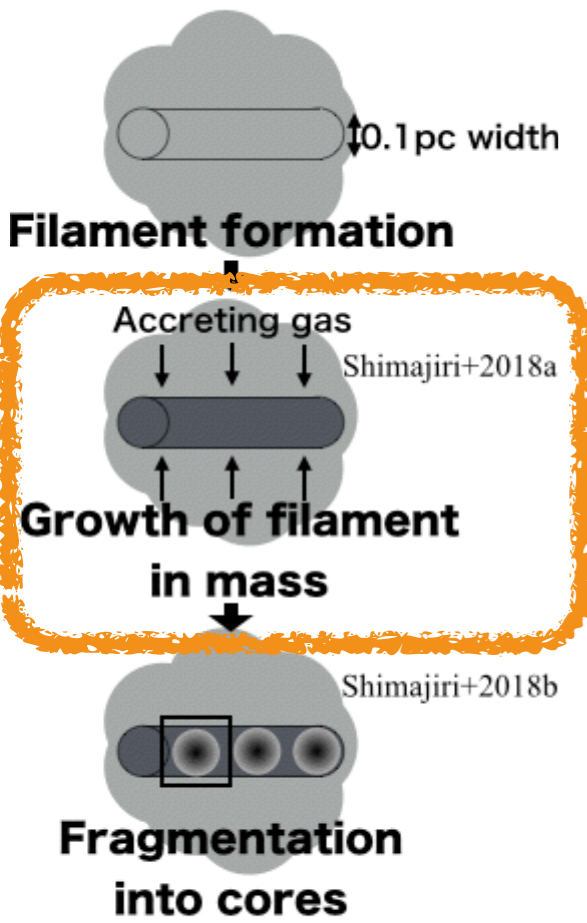
ハーシェル: 0.1pc幅
分子輝線: 0.035pc (H¹³CO⁺, N₂H⁺), 0.4pc (¹³CO)



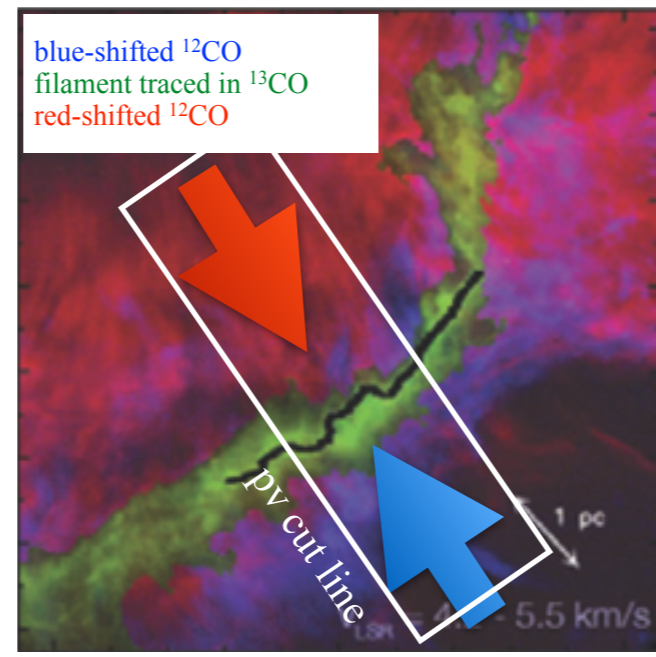
NGC2024領域におけるフィラメントでの
Herschel, H¹³CO⁺, C¹⁸O, ¹³COのradial profileの比較から、
分子輝線から見積もられたフィラメント幅は、
Herschelから見積もられたフィラメント幅と異なる結果を示す。

低質量星領域におけるフィラメント形成シナリオ -フィラメントの質量成長-

質量成長

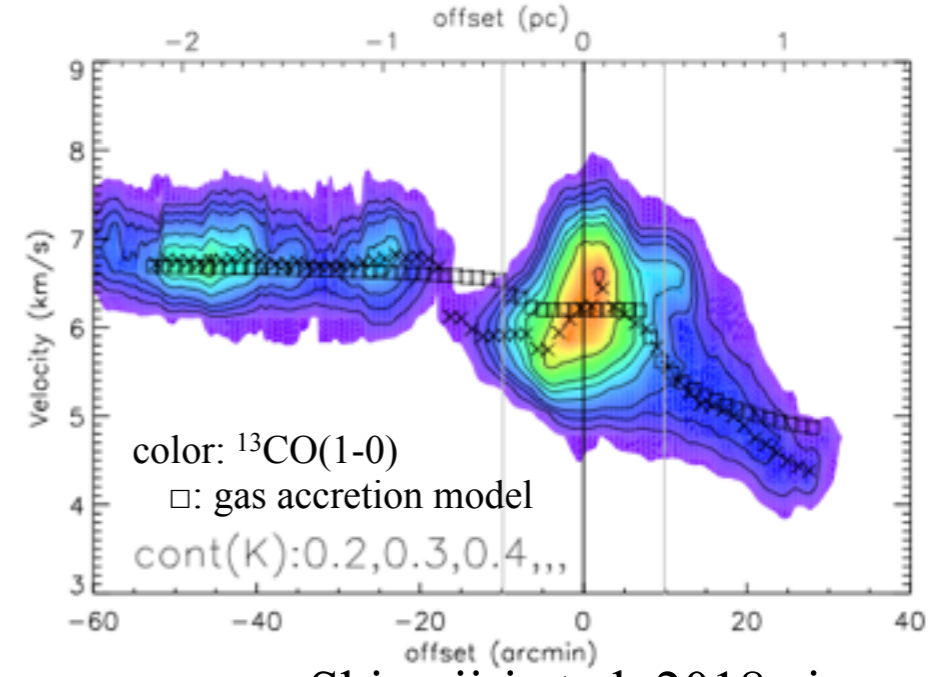


形態学的証拠



Palmeirim et al. 2013

運動学的証拠



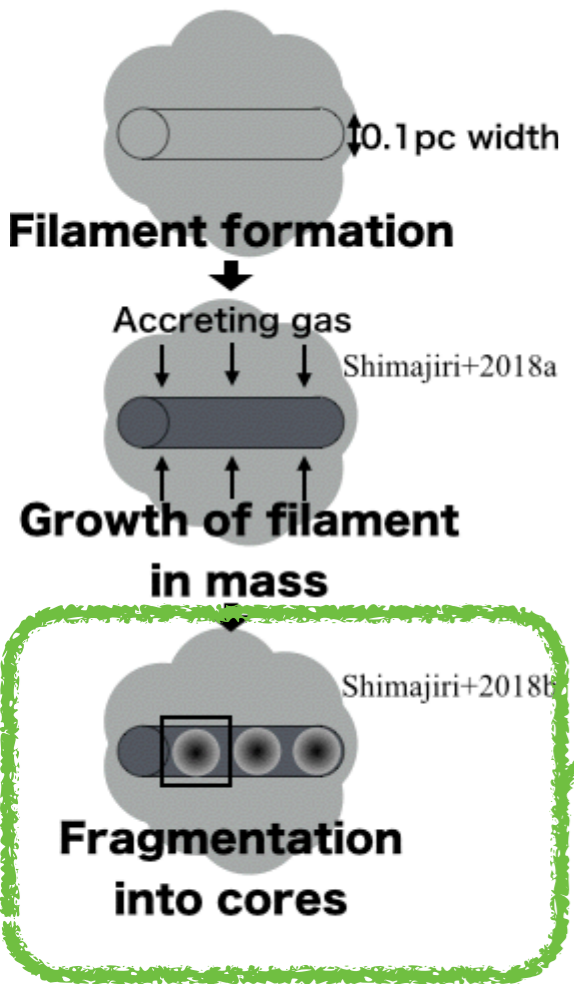
Shimajiri et al. 2018a in prep.

[形態学的証拠] フィラメントの北側にred-shift、南側にblue-shift。
 [運動学的証拠] gas accretionモデルと観測の速度構造が一致。

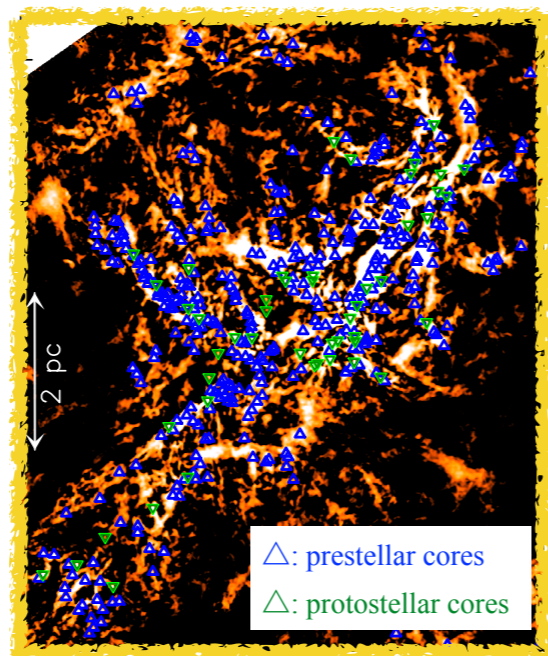
周辺ガスの流入によりフィラメントが質量成長

低質量星領域におけるフィラメント形成シナリオ - フィラメントの分裂による星形成コアの形成 -

フィラメント分裂→コア

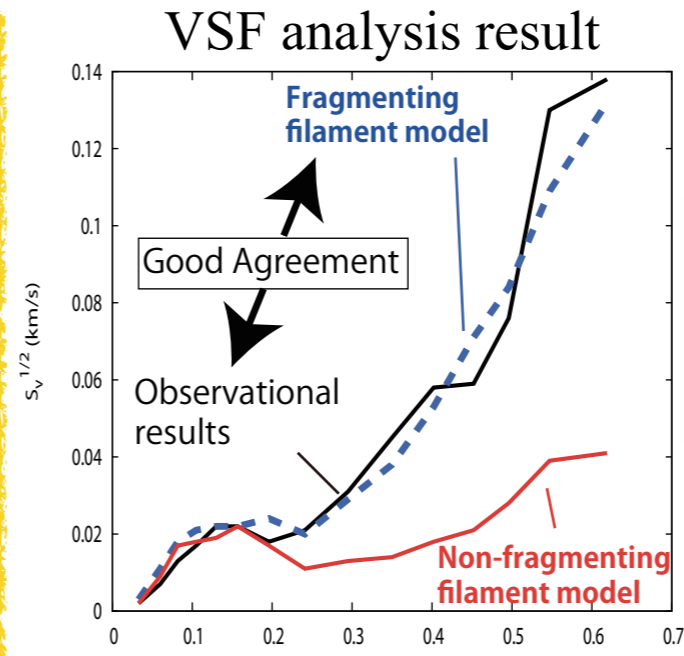


形態学的証拠

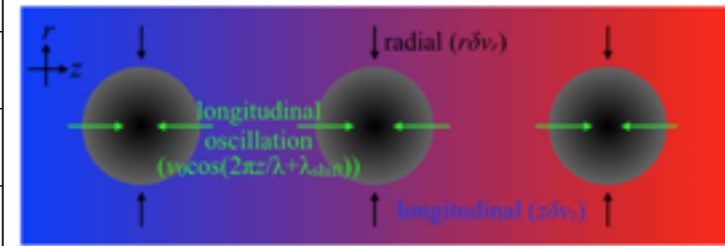


Konyves et al. 2015

運動学的証拠



Shimajiri et al. 2018b in prep.

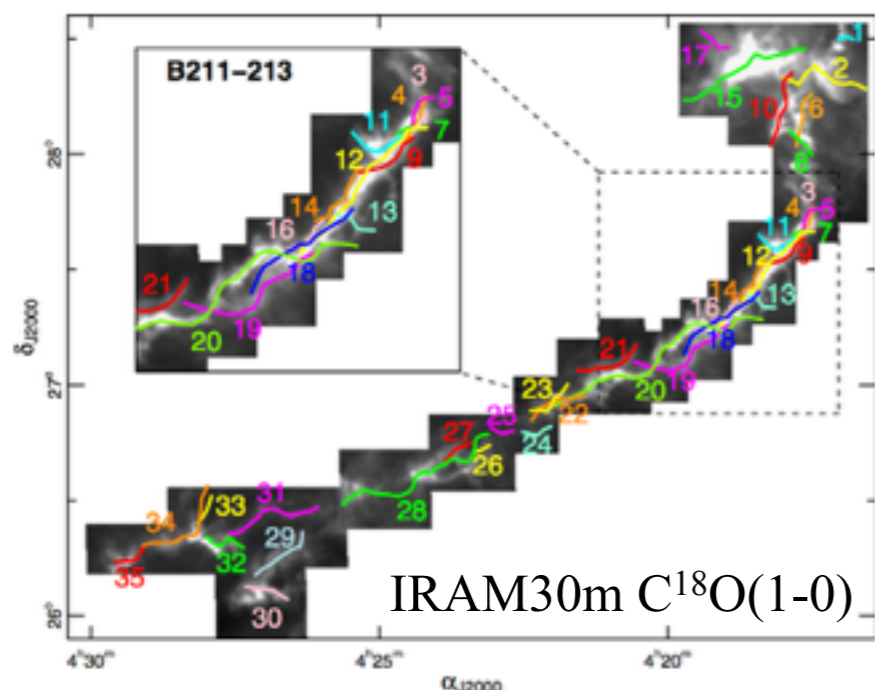


[形態学的証拠] 大部分のコアはフィラメントに埋もれている。
 [運動学的証拠] 分裂中のフィラメントのモデルと観測のVSFが一致。

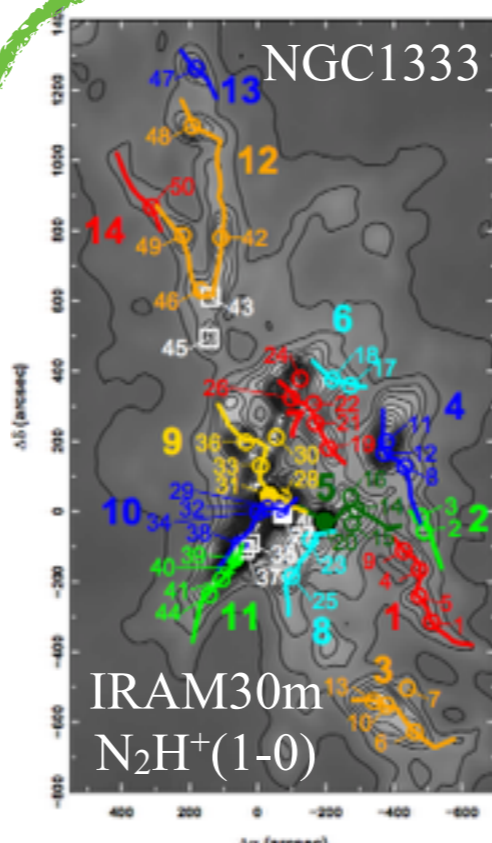
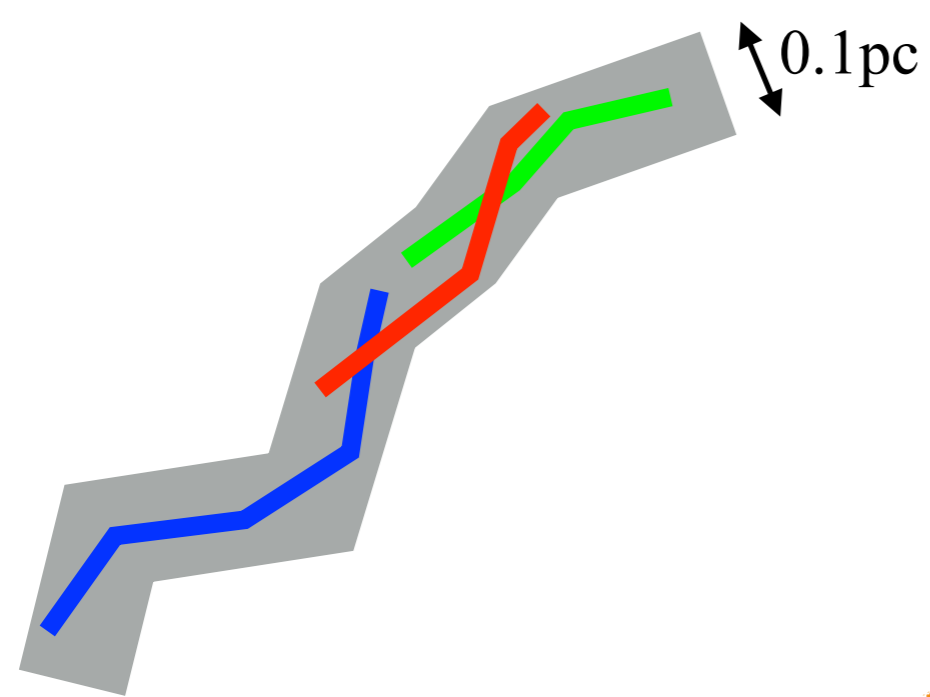
フィラメントから分裂することでコアが形成

低質量星領域におけるフィラメント形成シナリオ -フィラメントの内部構造-

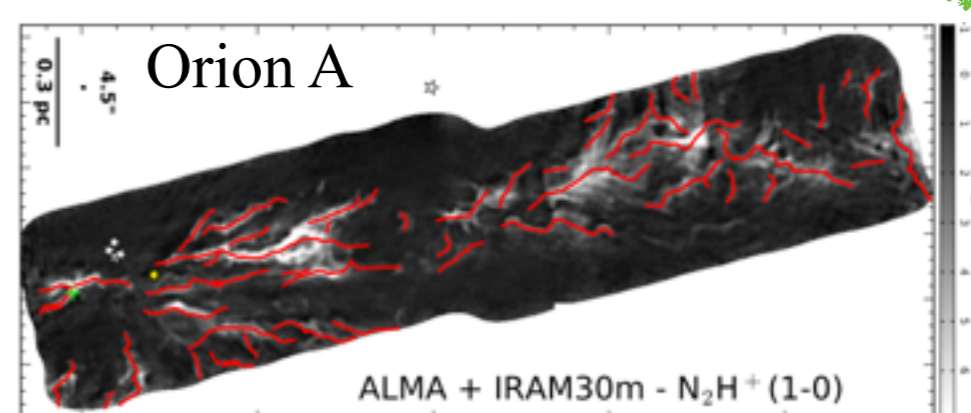
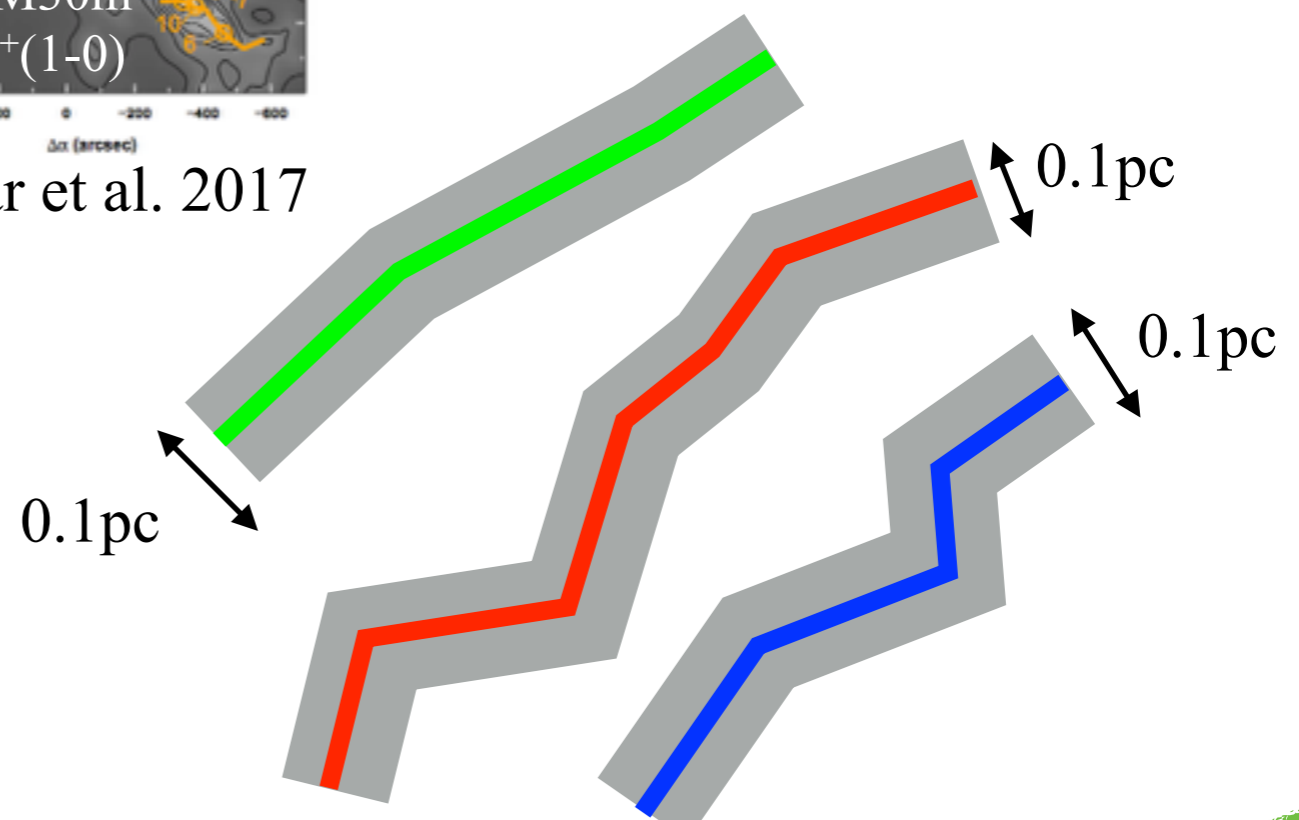
Velocity coherent structure (ファイバー)



Hacar et al. 2013



Hacar et al. 2017

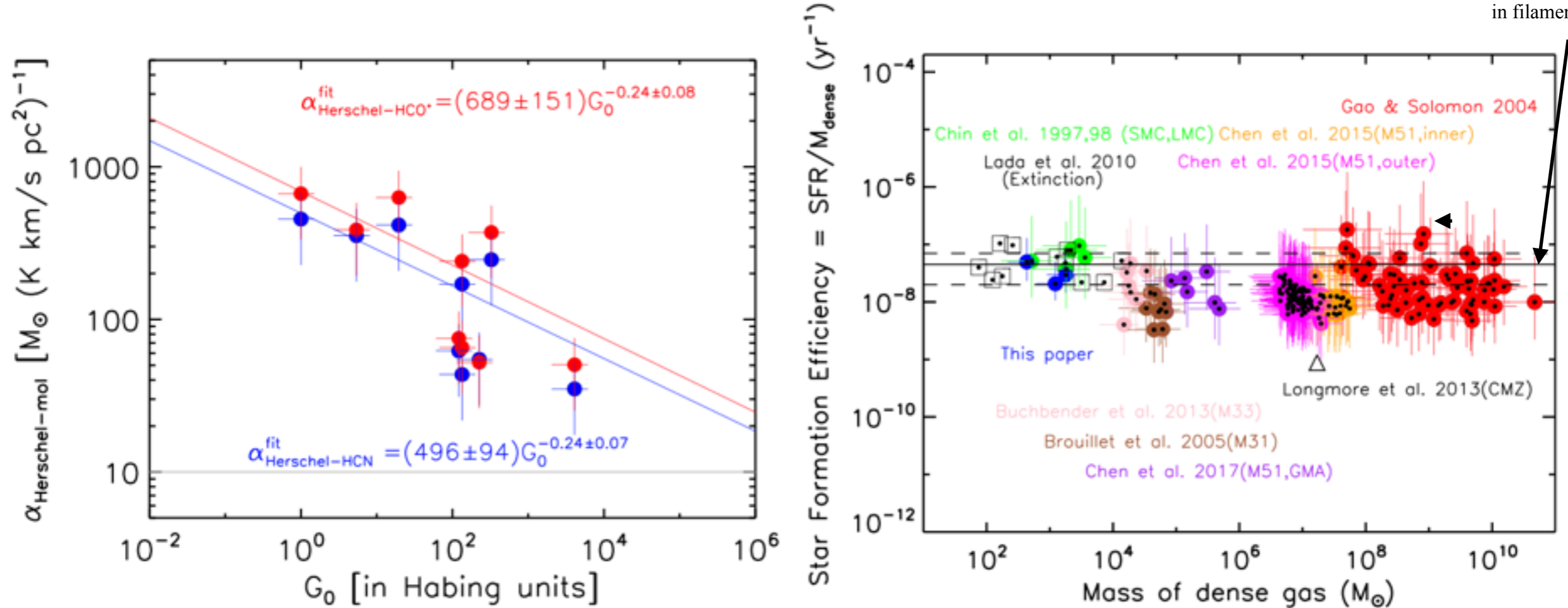


Hacar et al. 2018

フィラメント形成シナリオの普遍性

系内の観測結果をもとに、 L_{HCN} の質量変換係数。
この係数を用いて、系外銀河の M_{dense} を補正。

SFE_{dense} predicted from "microphysics" of the star formation in filaments



Shimajiri et al. 2017

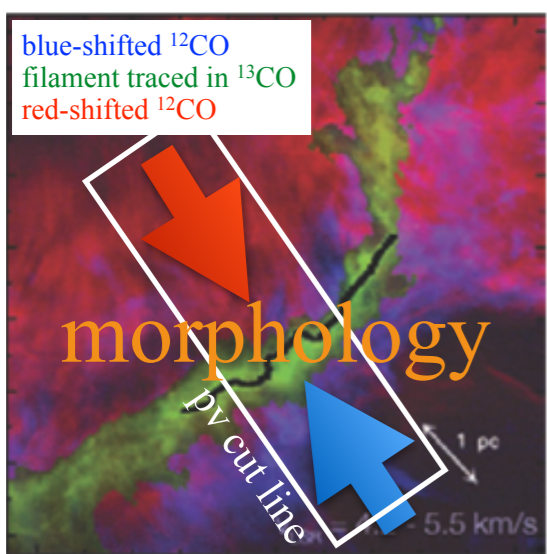
- $SFE_{\text{dense}} \sim \text{一定}$ (星形成から銀河スケール)
- $SFE_{\text{dense}} \sim SFE_{\text{dense}}^{\text{predicted, filament}}$

➡ 高密度ガス(フィラメント)から星への星形成則の普遍性

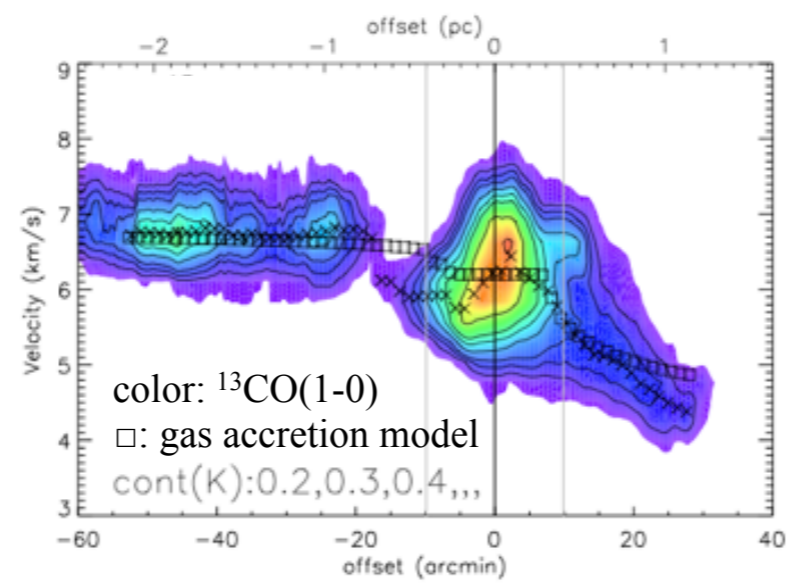
➡ この普遍性を確立するためには、大質量星領域や系外銀河におけるフィラメント形成シナリオを直接観測で明らかにする必要がある。

フィラメント研究に要求される電波観測のスペック

質量成長



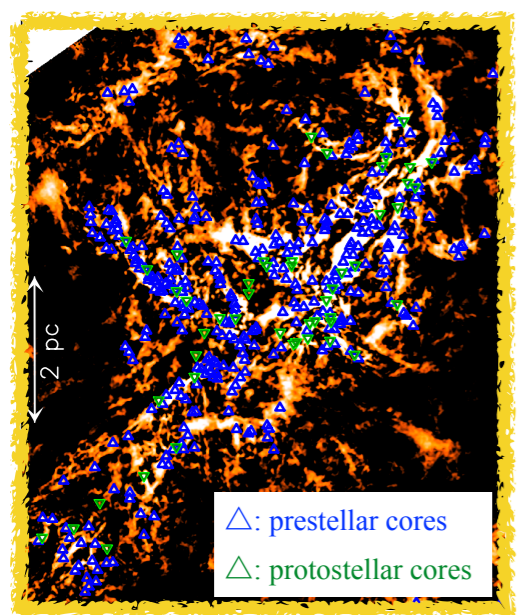
Palmeirim et al. 2013



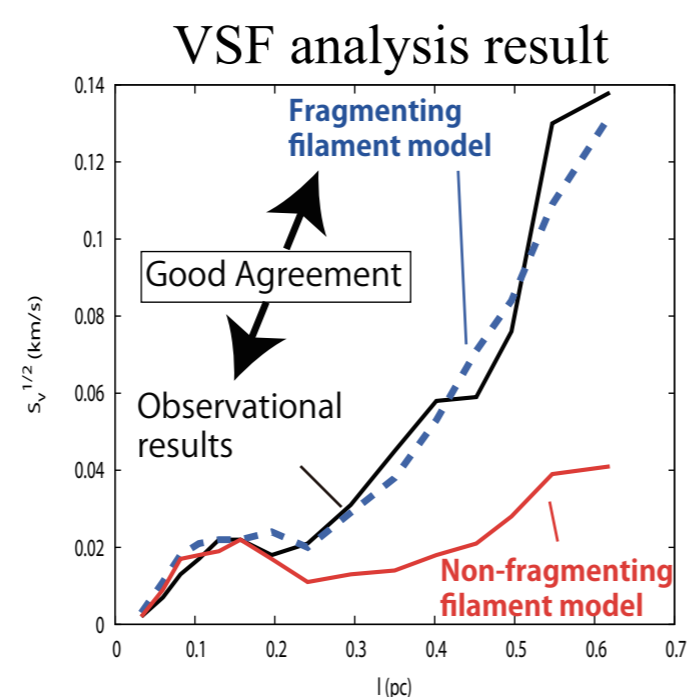
Shimajiri et al. 2018a in prep.

- ✓ Diffuse gas tracers
ex) ^{12}CO , ^{13}CO
- ✓ $dV < 0.1 \text{ km/s}$
- ✓ $\theta \sim 0.1 \text{ pc}$
- ✓ wide-field

分裂→コア



Konyves et al. 2015

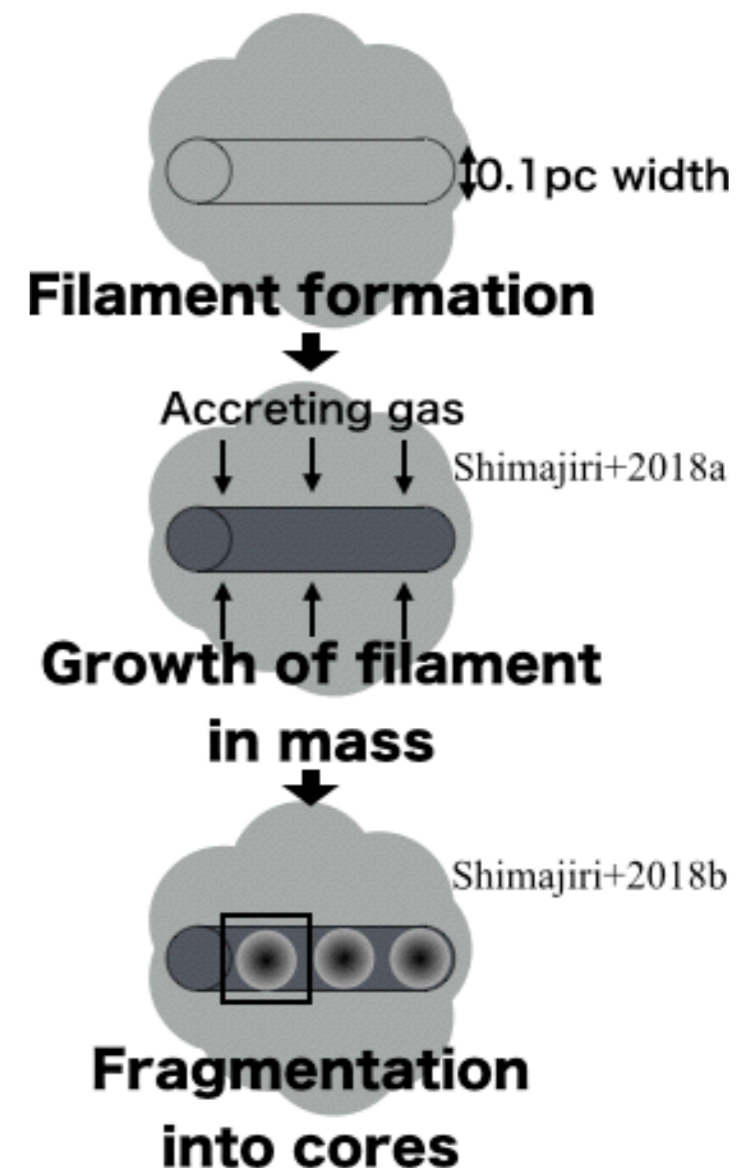


Shimajiri et al. 2018b in prep.

- ✓ Dense gas tracers
ex) C^{18}O , N_2H^+ , H^{13}CO^+
- ✓ $dV \ll 0.1 \text{ km/s}$
- ✓ $\theta \ll 0.1 \text{ pc}$

Short summary

- 低質量星形成領域における
フィラメント形成シナリオが確立しつつある。
- フィラメント形成の観測研究には、
 $\theta < 0.1 \text{ pc}$ 、 $dV < 0.1 \text{ km/s}$ の
マルチラインでの観測が必要。

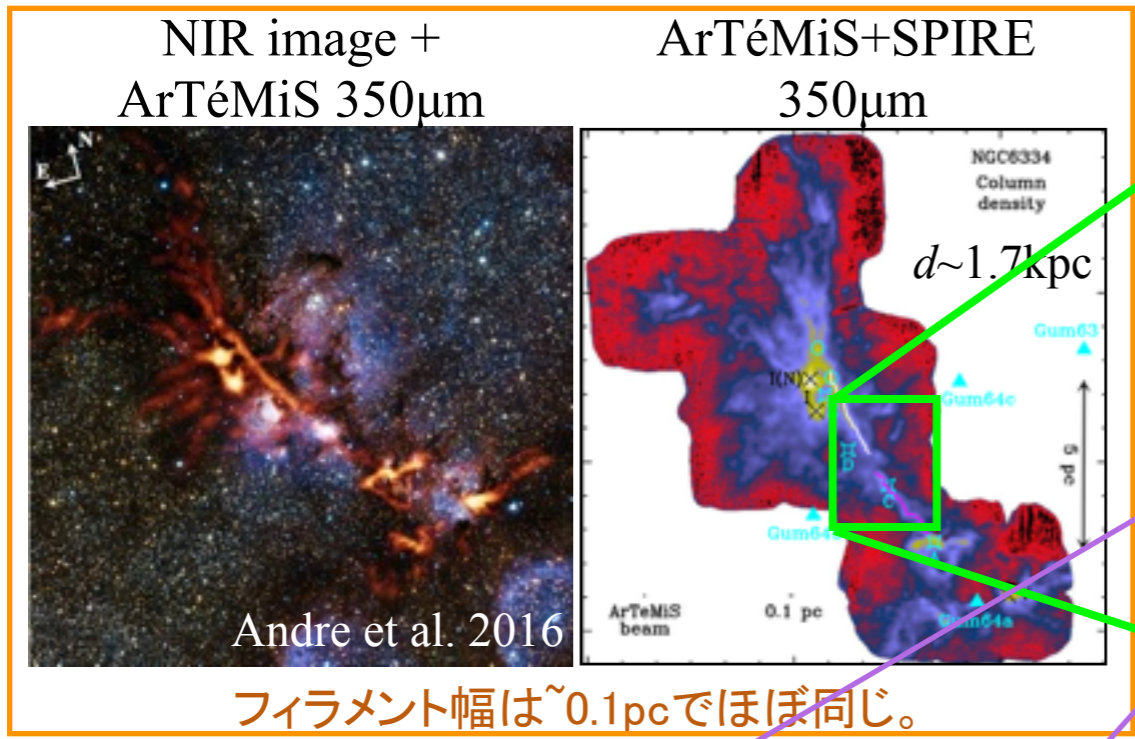


次のステップ:

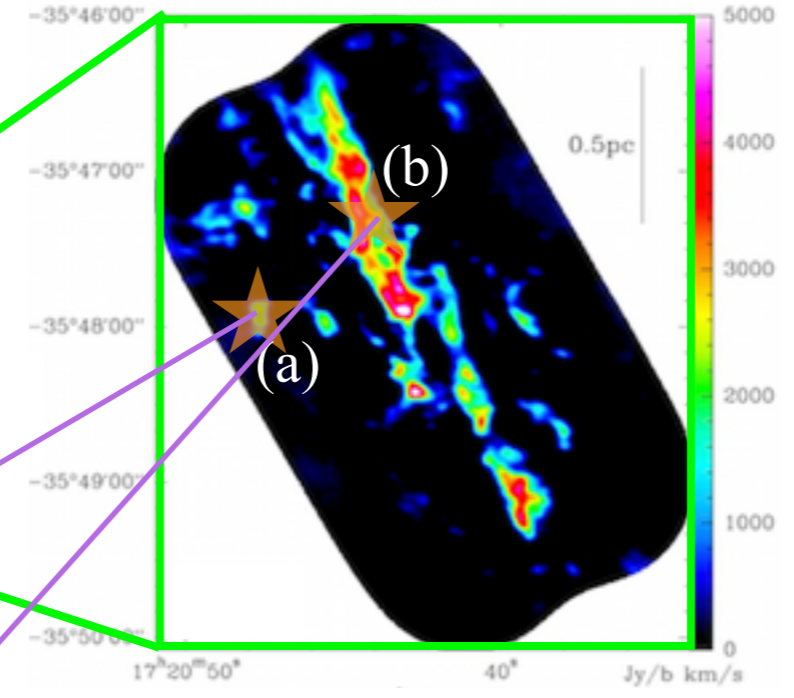
大質量星形成領域におけるフィラメント形成の解明が重要。

大質量星形成領域におけるフィラメント形成シナリオ

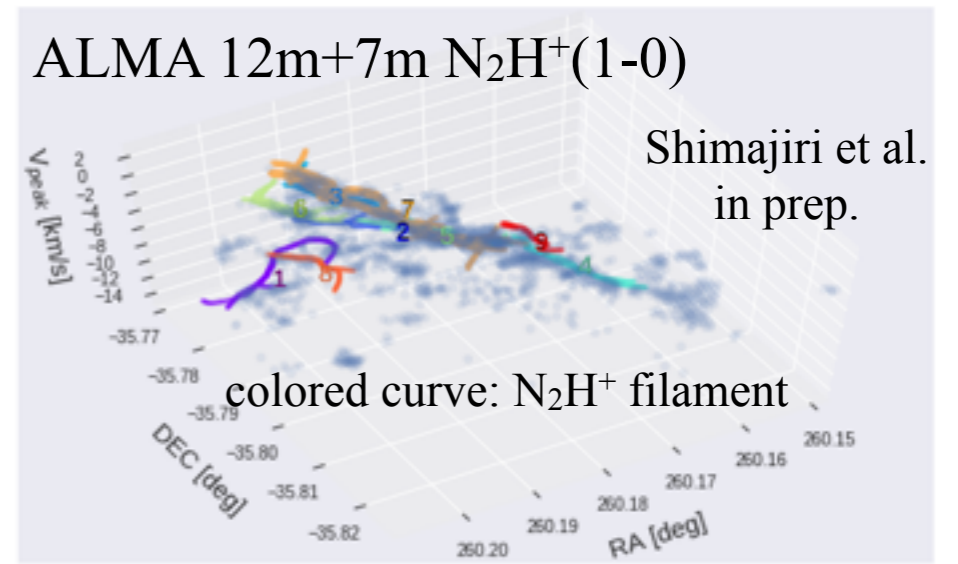
大質量星形成領域におけるフィラメント



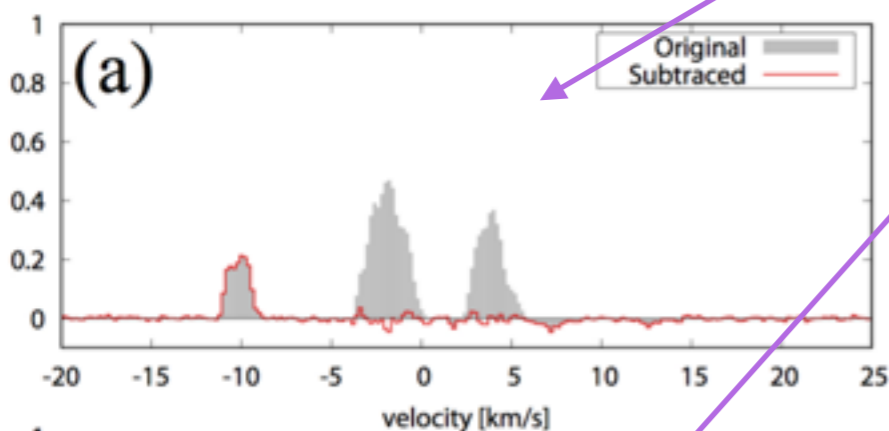
NGC6334
ALMA 12m+7m $\text{N}_2\text{H}^+(1-0)$
($\theta_{\text{beam}} \sim 6''$)



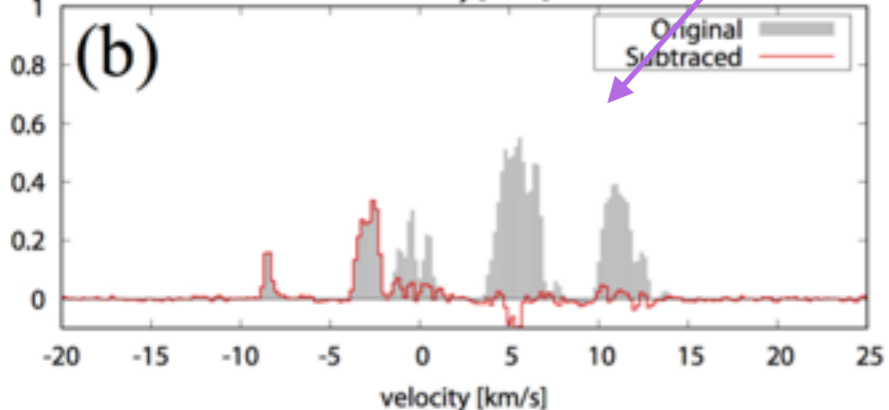
getfilament (Men' shchikov 2012,13,17)
+ post selection (YS code)の結果



Fiberも検出。Fiberの長さ、Fiber間の速度差は、Taurusとほぼ同じ。



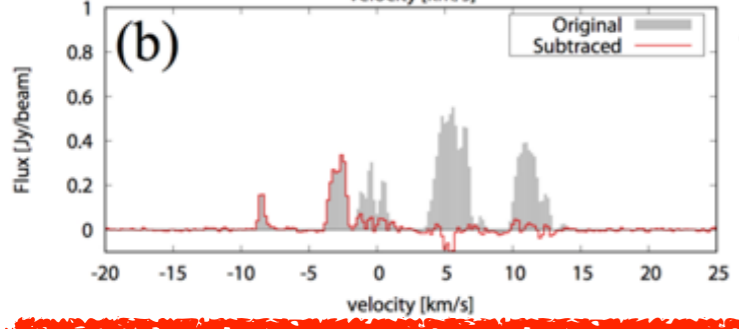
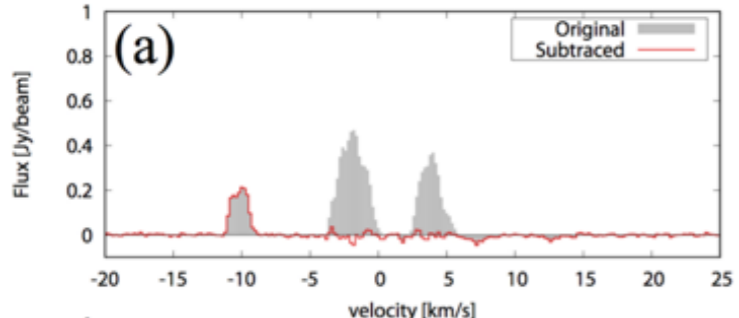
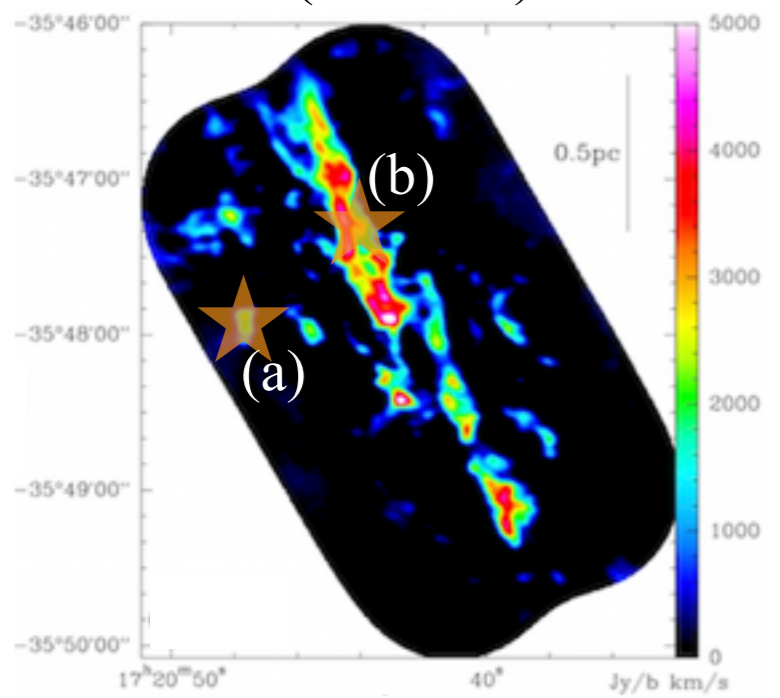
NGC6334の
 $V_{\text{sys}} = -4 \sim 0 \text{ km/s}$ に対して、
 -10 km/s にも成分がある。



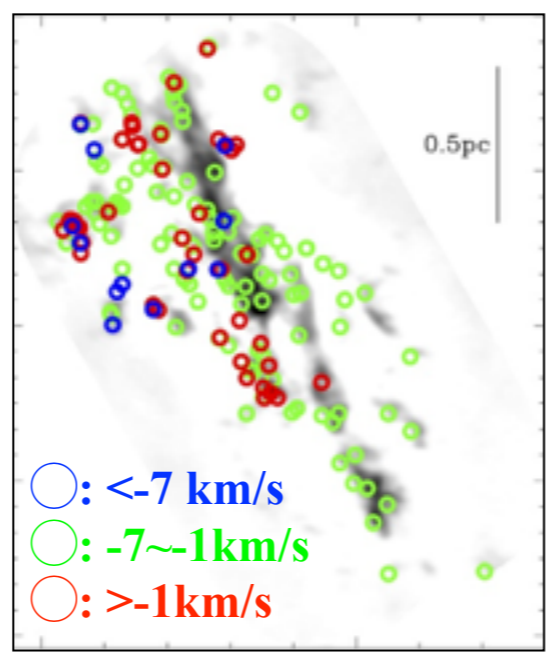
-10 km/s にも成分のmain HFSがNGC6334成分に付随した成分に影響。
multi HFS fittingにより除去。

大質量星形成領域におけるフィラメント形成シナリオ

NGC6334
ALMA 12m+7m N₂H⁺(1-0)
($\theta_{\text{beam}} \sim 6''$)

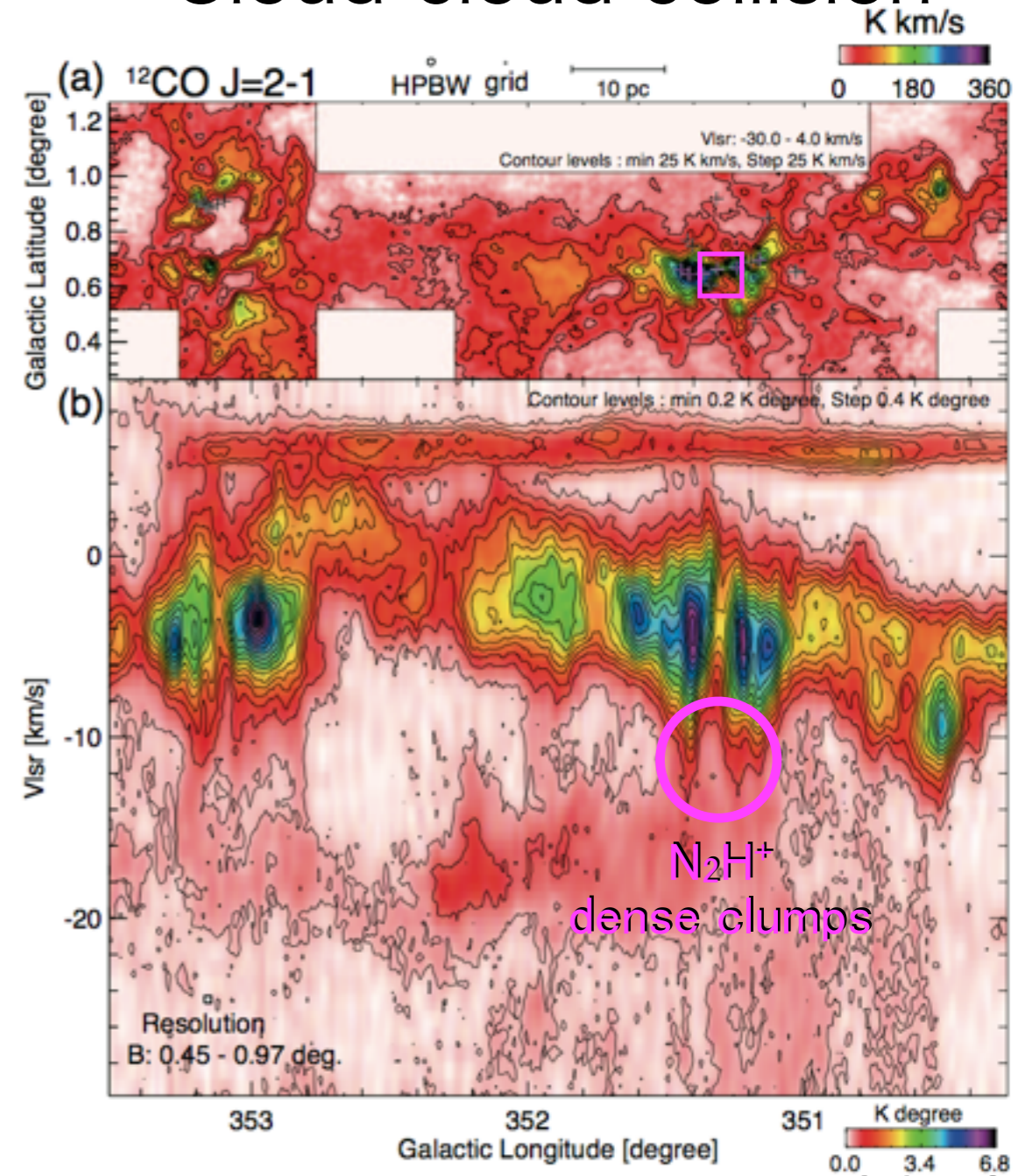


Dendrogram(コア同定)
の結果



high blueshift
($< -7 \text{ km/s}$)
コアを複数検出

Cloud-cloud collision



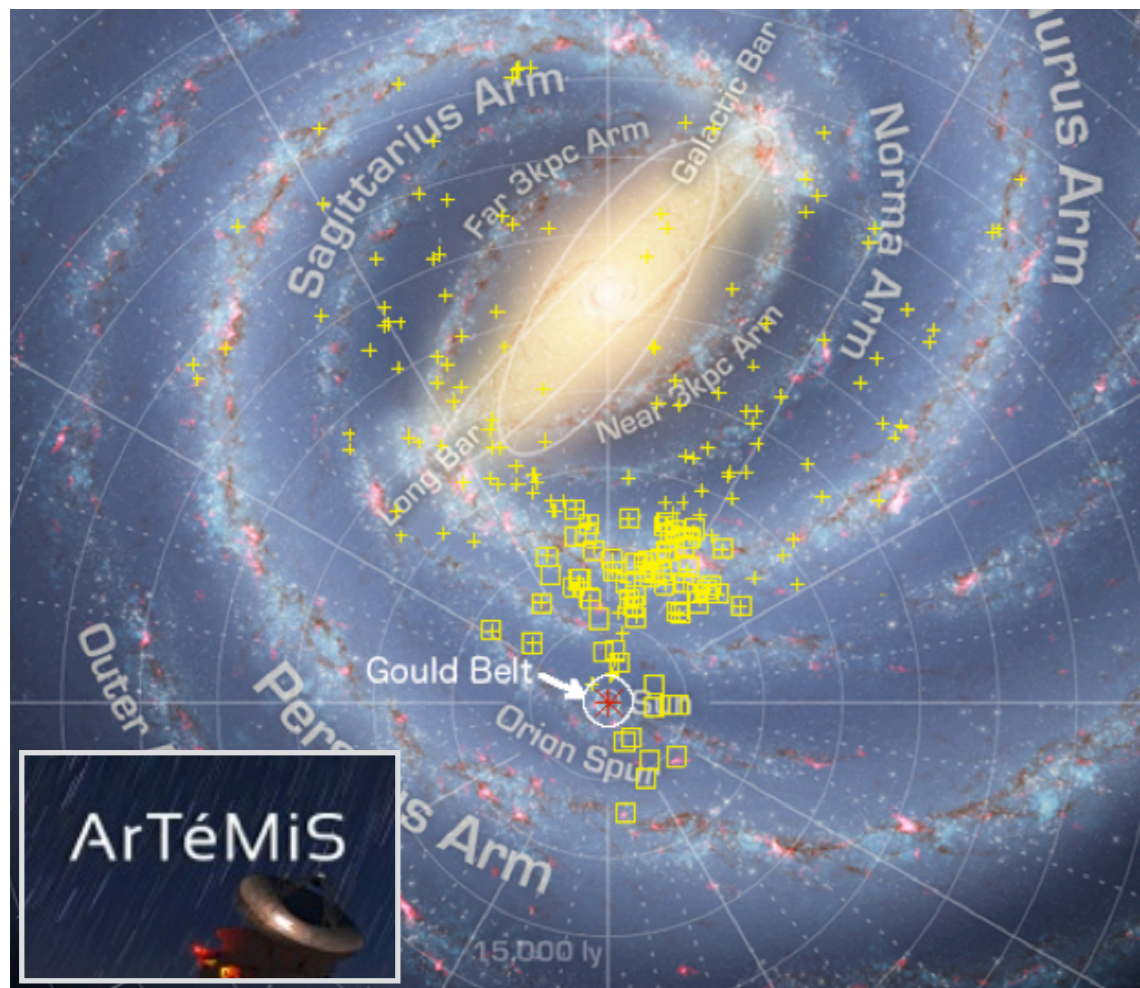
Fukui et al. 2018

$\theta \sim 6''$ 程度の観測で、
大質量星形成領域におけるフィラメント形成の過程を解明することが可能。

南極30m鏡によるターゲット候補

ArTéMiS (350 μ m/450 μ m) x APEX
 GTO large program: **CAFFEINE**
 (Core And Filament Formation/Evolution In Natal Environments)

南極30mによる
 大質量星形成領域におけるフィラメント形成



2-3kpcにある大質量星形成領域を
 350 μ m & 450 μ m 連続波 ($\theta < 0.1$ pc) でカバーし、
 フィラメント幅の普遍性の解明を目的。

↓ 速度情報が不足

- 45m/ASTE/30mでは、空間分解能不足
- ALMA/NOEMA+30mでは、観測時間が膨大すぎる

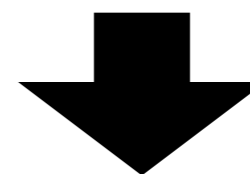
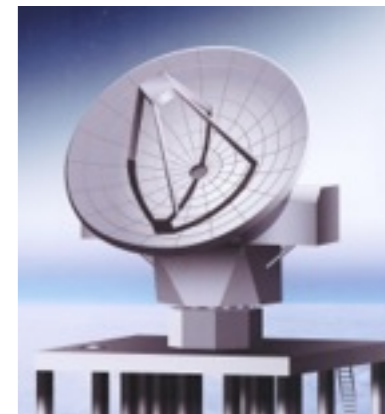
ヘテロダイン受信機(案) (冬季 50%レベル@新ドームふじ)

周波数帯	周波数範囲 GHz	Beam数	感度(5 σ rms for $\Delta V=1$ km/s or 100km/s) *			角分解能		
			$\tau=1$ min	1 hour	10 hours			
220 GHz	210-275	250	0.098 K (1km/s)	0.013 K (1km/s)	7.5 (mJy) (100km/s)	0.0040 K (1km/s)	2.4 (mJy) (100km/s)	11.3"
350	275-373	250	0.086	0.011	6.7	0.0035	2.1	7.1"
460	385-540	250	0.17	0.021	14	0.0067	4.4	5.5"
650	575-735	250	0.29	0.037	28	0.012	8.9	3.8"
850	775-965	250	0.46	0.060	55	0.019	17	2.9"
1000	1000-1060	100	1.1	0.14	157	0.045	50	2.5"
1300	1250-1380	100	1.5	0.19	242	0.060	77	1.9"
1500	1450-1550	100	2.4	0.31	840	0.096	266	1.7"

(* ON点積分時間。感度はON+OFF観測時)

[分子輝線セットの例]

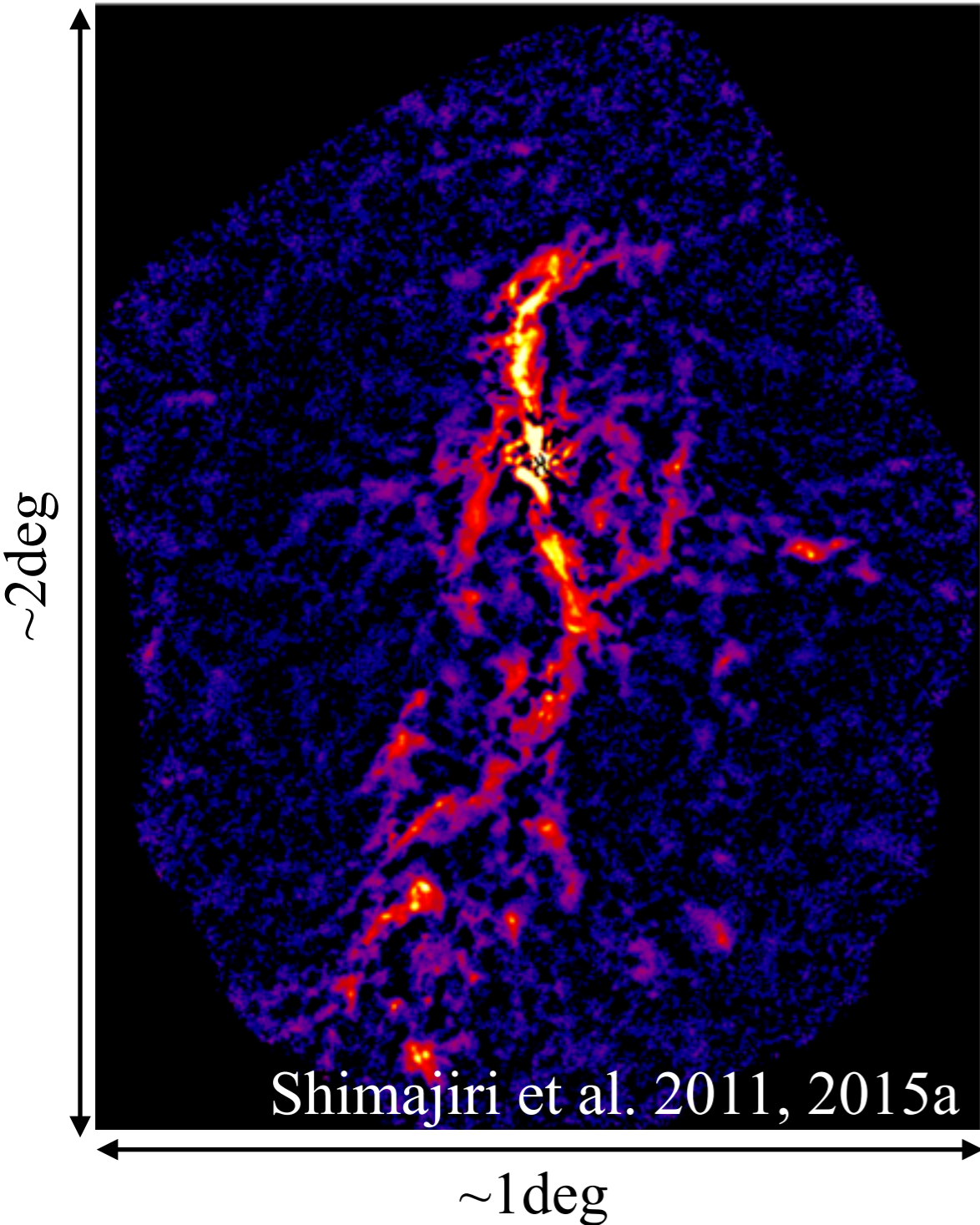
- CO(3-2): 345.8GHz (diffuse gas)
- ¹³CO(3-2): 330.6GHz (diffuse gas)
- C¹⁸O(3-2): 329.9GHz (dense gas)
- H¹³CO⁺(4-3): 346.9GHz (dense gas)



CAFFEINEでは、74領域をターゲットとしているが、
 南極30m鏡であれば、観測要求を満たし、
 大部分のCAFFEINEターゲット(51/74)をカバーでき、
 大質量星形成領域におけるフィラメント形成(質量成長, 分裂)
 を明らかにすることが出来る。

[宣伝] NIKA2/IRAM30m

AzTEC/ASTE 1.1mm
toward Orion A



AzTEC/ASTE → NIKA2/IRAM30m

● Integration time: 13hours

● Area: ~1 deg × 2 deg

● 1.1mm

→ 1mm, 2mm, 1mm(pol)

● θ_{beam} : 36''

→ 12'' (1mm), 18'' (2mm)

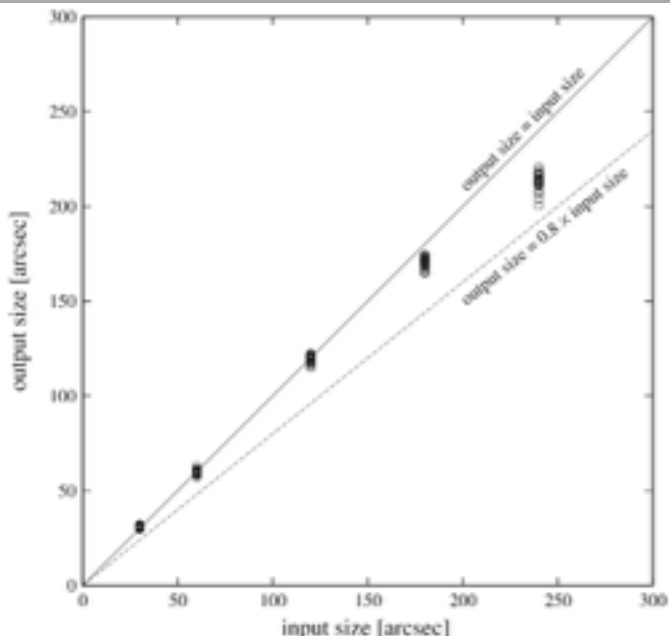
● rms: 9mJy/beam

→ 7mJy/beam (1mm), 1.5mJy/beam(2mm)

Members of
NIKA2 commissioning (June 2018)



[宣伝] NIKA2/IRAM30m

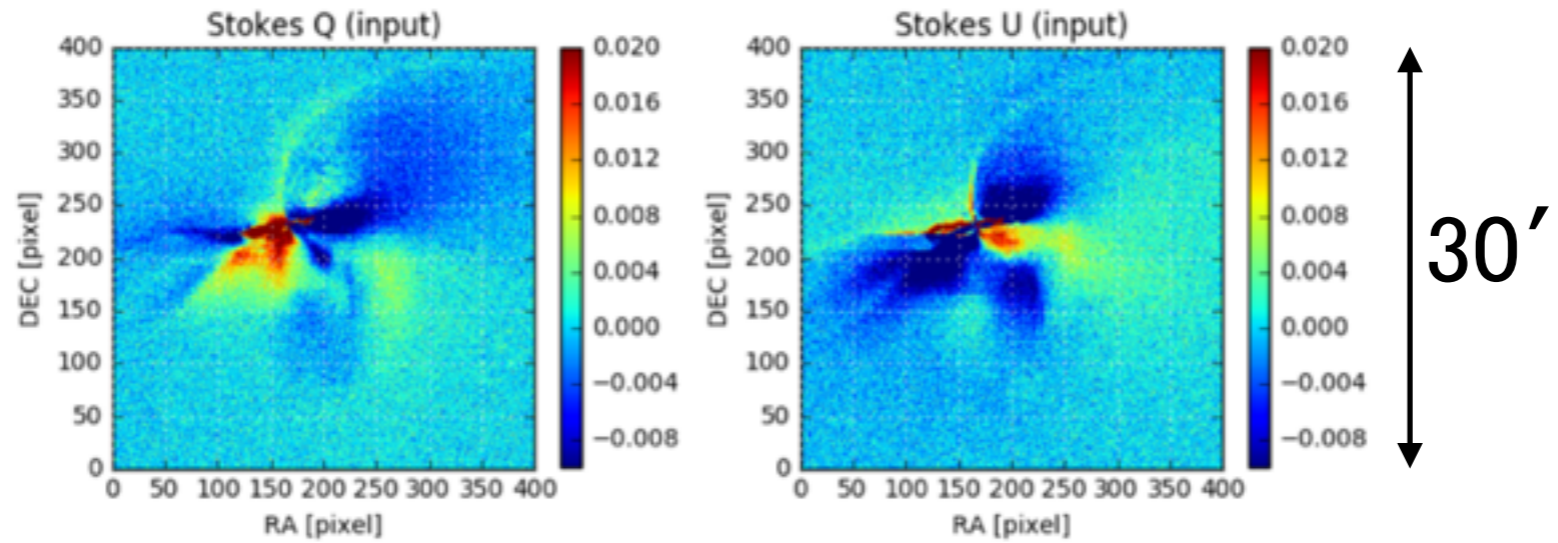


[地上望遠鏡に搭載されたカメラのデータの問題点]

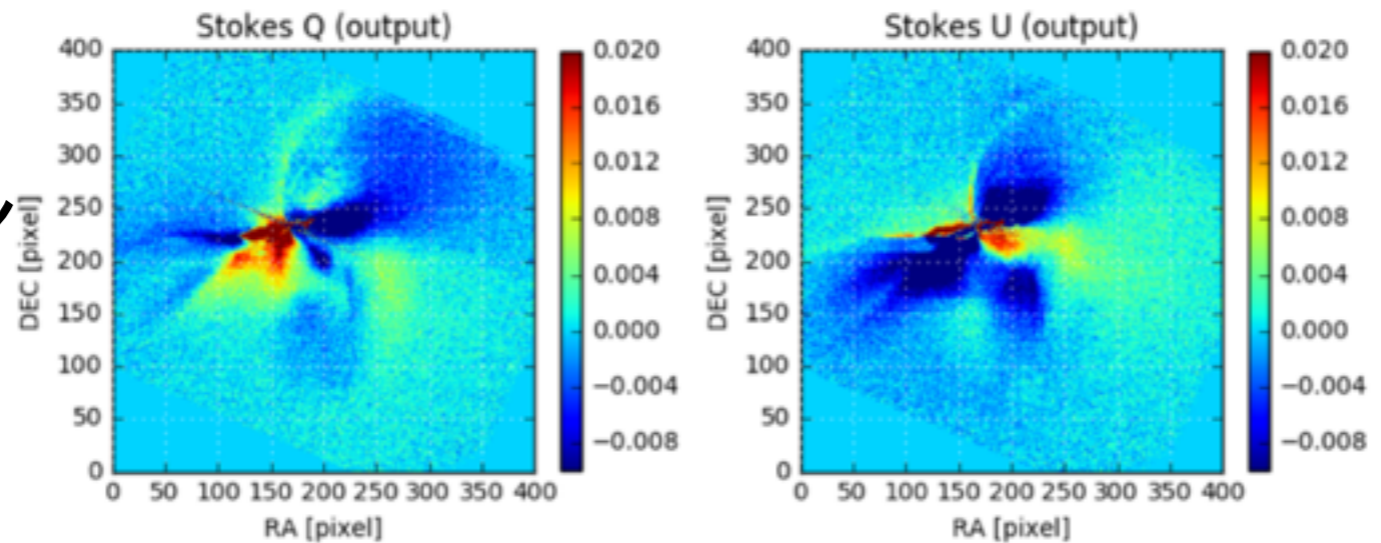
大気雑音を除去する際に、広がった天体のemissionの除去されてしまい議論できる内容が限られてしまう。
 たとえば、AzTEC 1.1mm(total power)では、3' 角以上の構造の議論は出来ない。

Shimajiri et al. 2011, 2015a

入カイメージ



シュミレーション結果

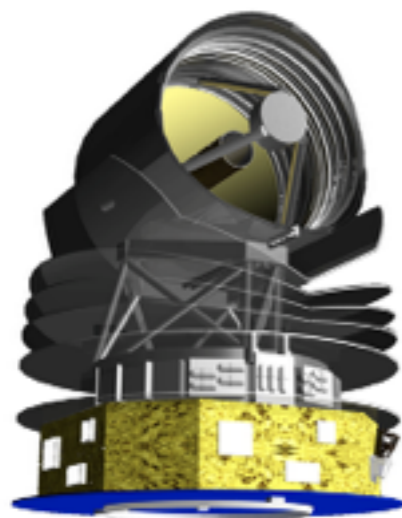


磁場のフィラメントに帯する役割の解明を目的にNIKA2 LP(B-FUN)で近傍星形成領域のフィラメントを観測予定。

南極望遠鏡による偏波観測

SPICA(2027-)

$\theta = 9-32''$ & wide-field



低質量星形成領域でのフィラメントにおける磁場の役割

ALMA

higher θ & small field



相補的な役割

南極30m(2034-)

$\theta = 3-6''$ & wide-field



大質量星形成領域でのフィラメントにおける磁場の役割

SPICA / SAFARI_Pol Fact Sheet
 A polarimetric camera with
 3 simultaneous bands 100, 200 & 350 μm
 on the same FOV : 2.6' x 2.6' @ 0.6 $\#/\lambda$ sampling

	100 μm	200 μm	350 μm
Band edges	75-125 μm	150-250 μm	280-420 μm
# of pixels	32 x 32 (x 2)	16 x 16 (x 2)	8 x 8 (x 2)
Pixel size	5" x 5"	10" x 10"	20" x 20"
Band centre beam FWHM	9"	18"	32"
PS sensitivity Se/1h/FOV (unpolarised)	21 μJy	42 μJy	85 μJy
PS sensitivity in Stokes (Q,U) Se/1h/FOV (polarised)	30 μJy	60 μJy	120 μJy
PS sensitivity Se/10h/1deg ² (unpolarised)	0.16 mJy	0.32 mJy	0.65 mJy
PS sensitivity in Stokes (Q,U) Se/10h/1deg ² (polarised)	0.23 mJy	0.46 mJy	0.92 mJy
Surface brightness sensitivity Se/10h/1deg ² (unpolarised)	0.09 MJy/sr	0.045 MJy/sr	0.025 MJy/sr
Sensitivity to map Stokes parameters (Q,U) at 5% level Se/10h/1deg ²	2.5 MJy/sr	1.25 MJy/sr	0.7 MJy/sr

cea

<http://www.spica-mission.org/downloads/safari-pol-fs.pdf>

連続波電波カメラ(NKID) (案)

NEP = $6 \times 10^{-18} \text{ W Hz}^{-1/2}$ \rightarrow $T_{\text{RX}} = 1.5 \text{ K}$ for $B=40\text{GHz}$

周波数帯 GHz	感度 (5 σ rms) (τ =積分時間)				角分解能	素子数 N	Mapping speed [deg ² hr ⁻¹ mJy ⁻²]	
	$\tau=60$ sec	1 hour	10 hours	Confusion				
230	0.67 mJy	0.087 mJy	0.027 mJy	0.19 mJy	11"	4000 x 2	128 x 2	レンズ
400	1.12 mJy	0.15 mJy	0.046 mJy	0.22 mJy	6.2"	6300 x 2	22 x 2	レンズ
650	1.68 mJy	0.22 mJy	0.069 mJy	0.052 mJy	3.8"	16600 x 3	9.8 x 3	レンズ
850	2.45 mJy	0.32 mJy	0.10 mJy	0.011 mJy	2.9"	27000 x 2	4.4 x 2	レンズ
1300	13.6 mJy	1.76 mJy	0.48 mJy	0.00035 mJy	1.9"	10800 x 2	0.024 x 2	ホーン
1500	46.4 mJy	6.00 mJy	1.89 mJy	0.00009 mJy	1.7"	14400 x 3	0.0022 x 3	ホーン

$$\text{Mapping speed (MS)} = \frac{N\Omega}{NEFD^2}$$

Total 7.2万素子+11.9万素子

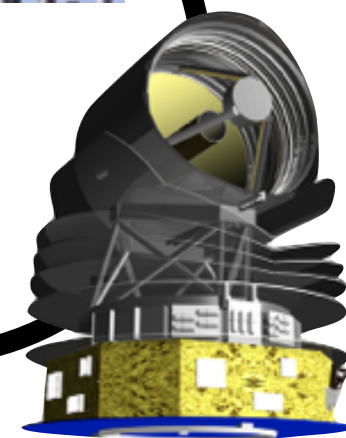
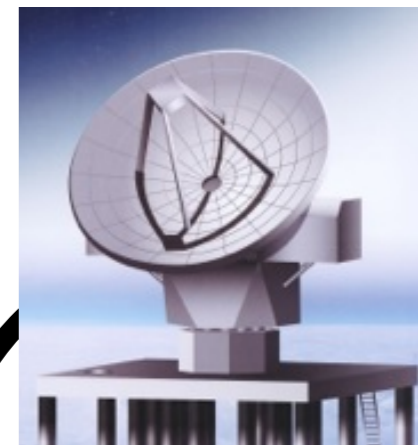
Short summary

- **350GHzヘテロダイン受信機@南極30m**

大質量星形成領域における
フィラメント形成(質量成長, 分裂)を解明

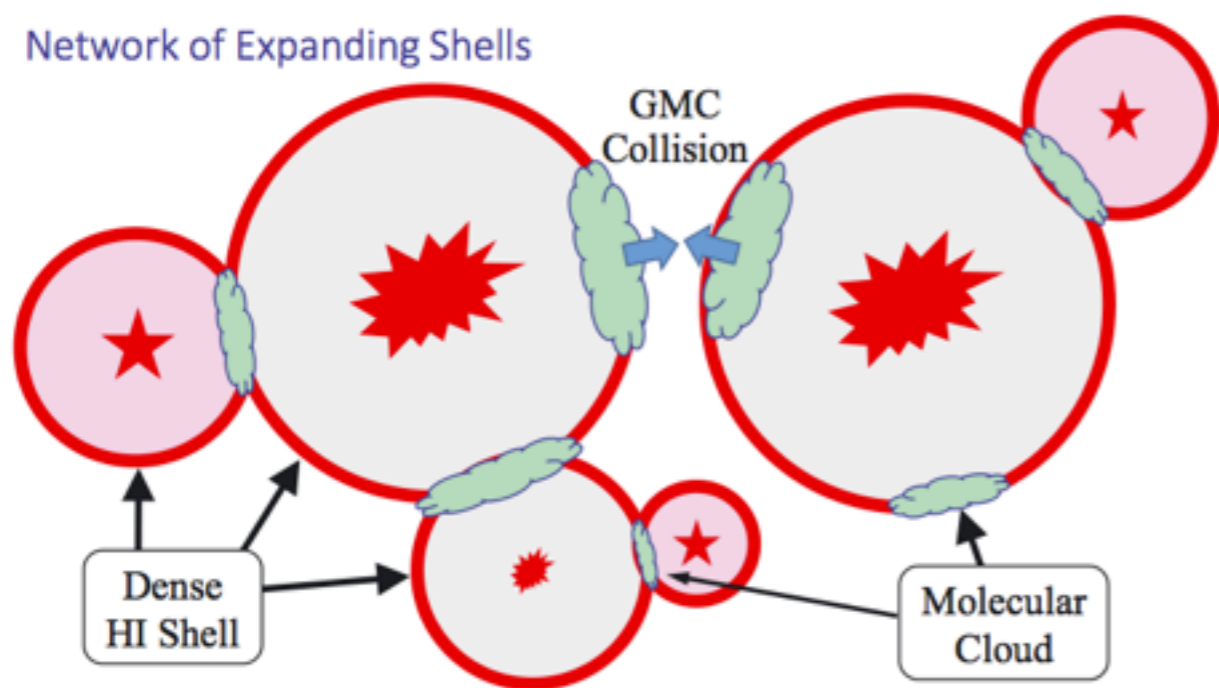
- **400-650 GHz連続波 × 偏波@南極30m**

大質量星形成領域における
フィラメント形成に対する磁場の役割を解明
*ALMA, SPICAとも相補的

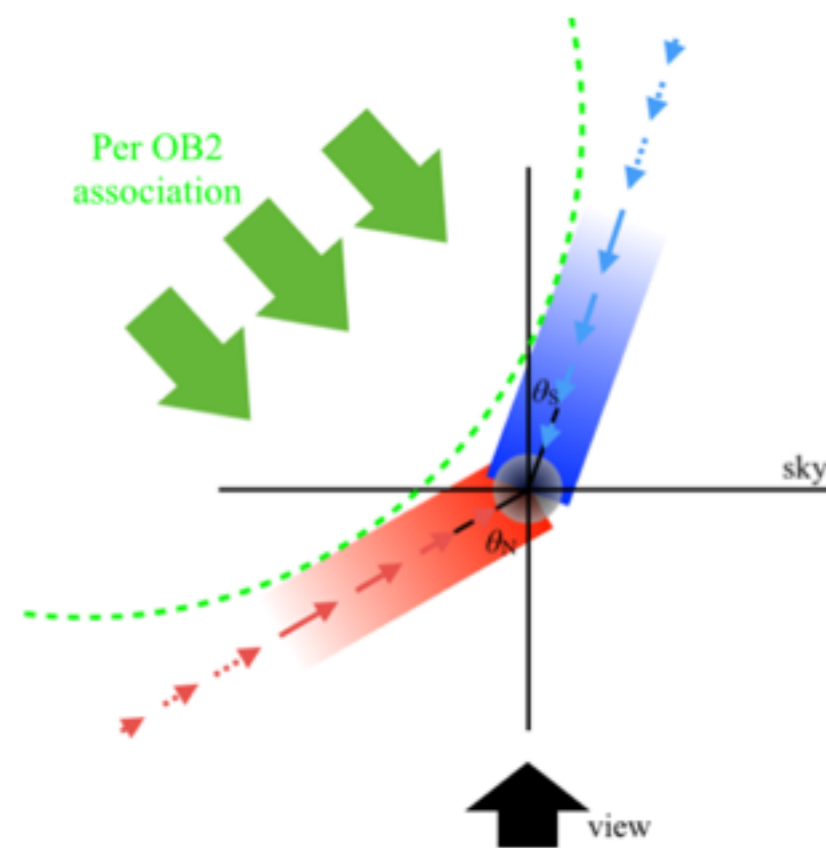
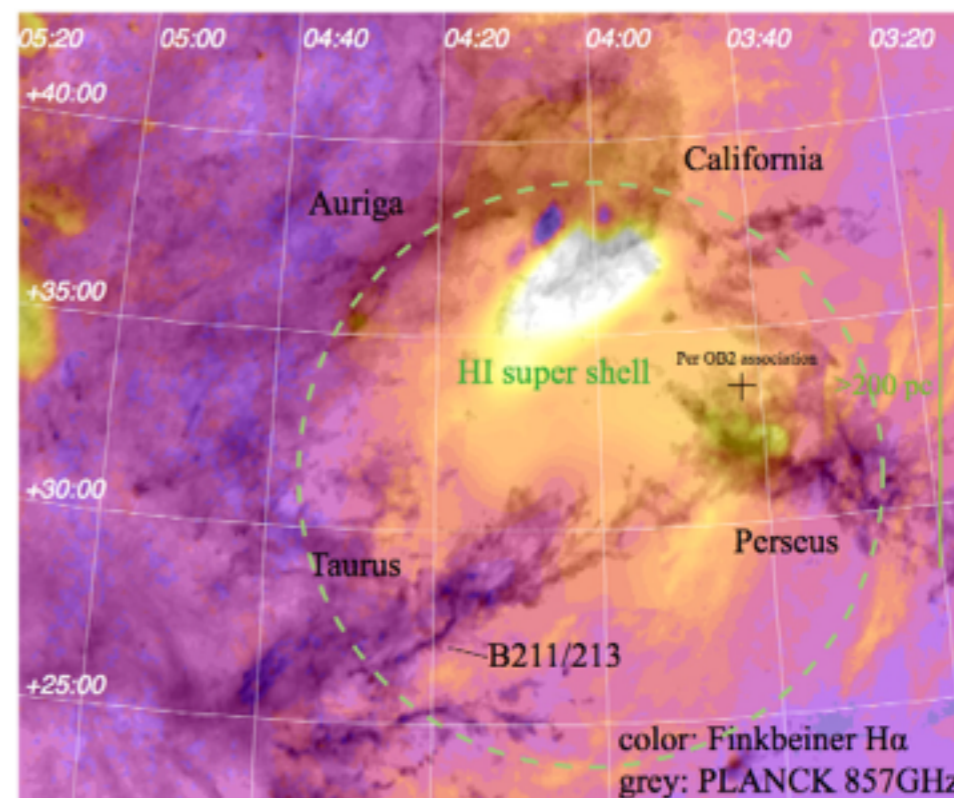


*Thank you
for your attention!!*

Filament formation by large-scale compressions



Inutsuka et al. 2015



Shimajiri et al. in prep.