



# かなた望遠鏡可視偏光サーベイ MBM 37の星無しコア周縁部の 磁場構造

日本天文学会2024年秋季年会@関西学院大学 P106a 2024/9/12

**堀友哉**, 川端弘治, 丸田哲温, 中村謙吾 (広島大学), 土井靖生, 城壮一郎 (東京大学),  
松村雅文 (香川大学), 秋田谷洋 (千葉工業大学), 笹田真人 (東京工業大学)

# Background 1

重力収縮

## 星形成過程

星間分子雲 → 分子雲コア → 原始星

重力だけでなく、乱流や磁場も形成過程に影響

## 星無し分子雲コア

星形成の兆候が見られない分子雲コア → 星無し分子雲コア (Starless Core)

・ 星形成直前のコアを観測している

or

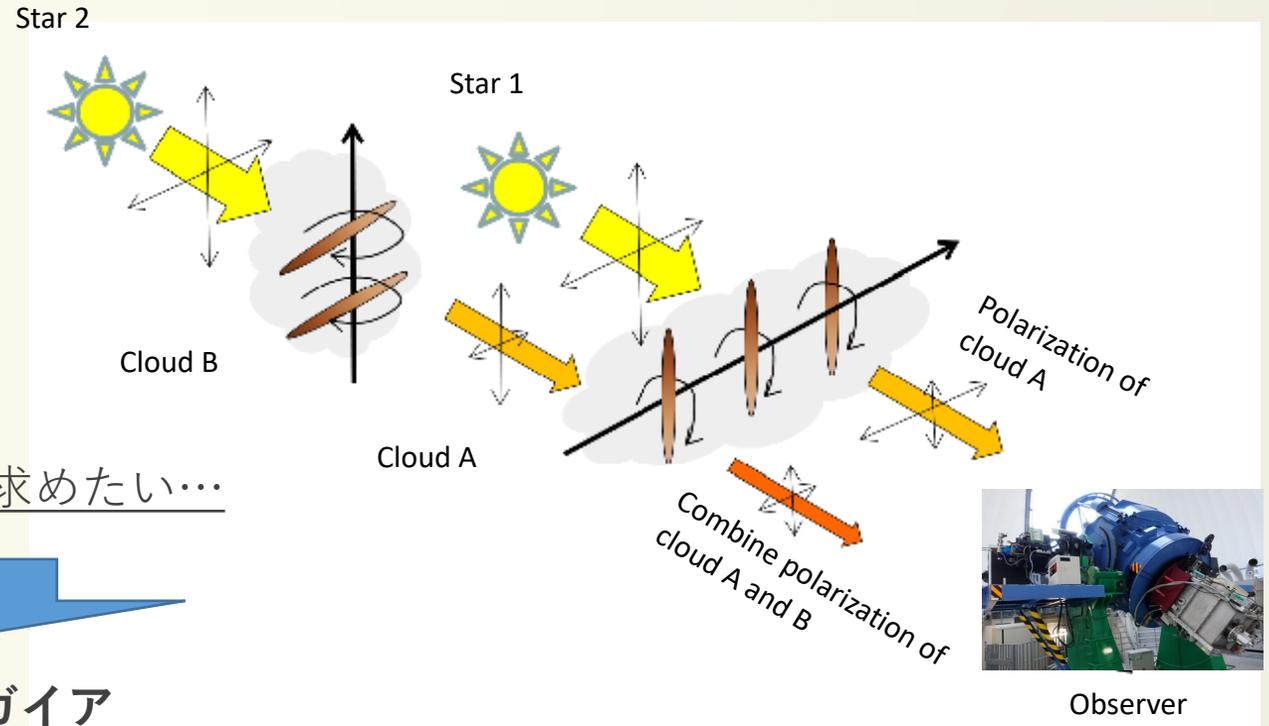
・ 何らかの条件によりコアが重力収縮できない状態  
特に磁場強度が強い場合、磁気圧により重力収縮が抑制

# Background 2

## 個々の星間雲の偏光の推定

偏光はベクトル的に加算

→距離ごとの偏光を導出、遠方の偏光から差し引く



星の距離を正確に求めたい...



## 位置天文衛星ガイア

2013年打ち上げ、最新のカタログでは20等までの星の距離や星間吸収量を記載



位置天文衛星ガイア  
Credit: Gaia,ESA

偏光観測 + ガイアのデータ



個々の星間雲の偏光の導出が可能に！

# Goal

星無し分子雲コア周縁部の密な偏光観測により磁場構造をマッピング

コア周縁部の可視近赤外での偏光マッピングは少ない



本研究で分子雲コア周縁部と星間空間の接続部分の磁場構造を詳しく探り、  
星形成への理解を深める

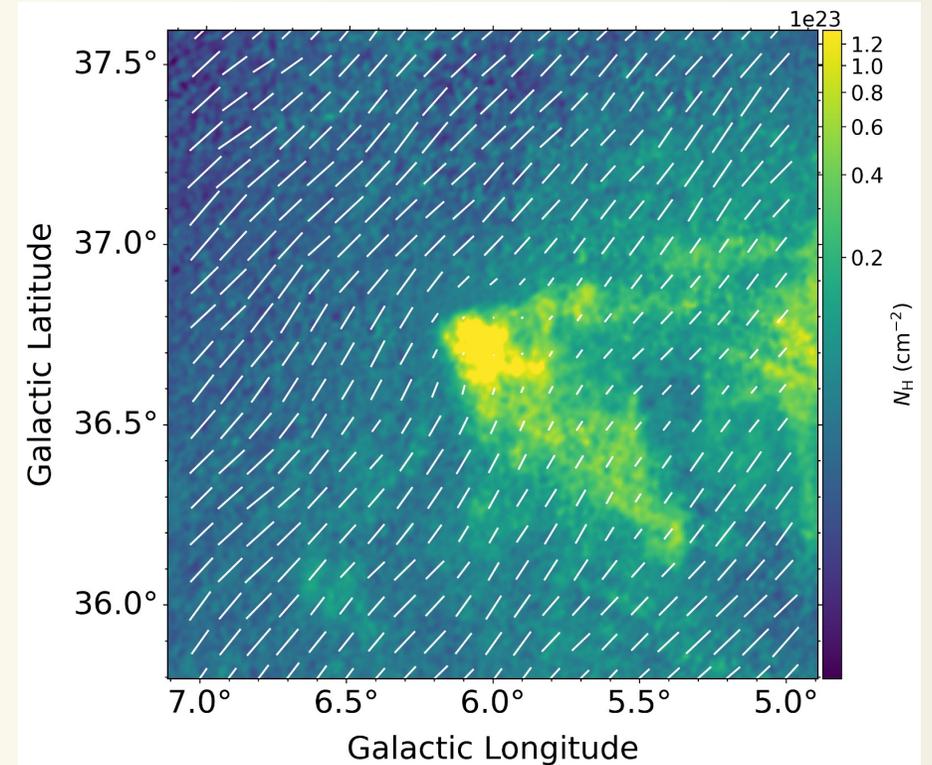
# Target Region

## MBM 37

- ・ 化学的に進化した星無し分子雲コアを含む高銀緯分子雲 ( $b \sim 37^\circ$ )
- ・ 距離  $\sim 121$  pc と近傍 (Schlafly+ 2014)

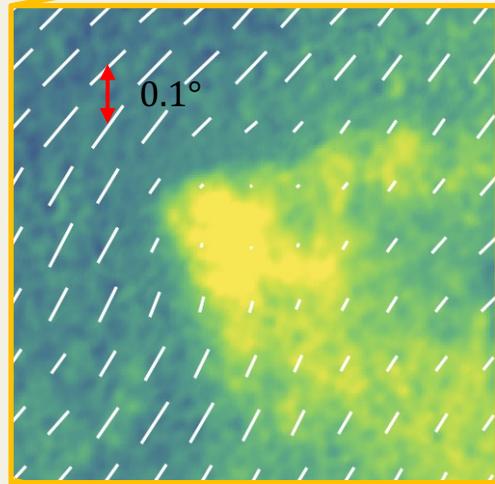
観測期：2023.5月 - 9月

かなた望遠鏡+HONIR(R,Hバンドでの同時偏光観測)

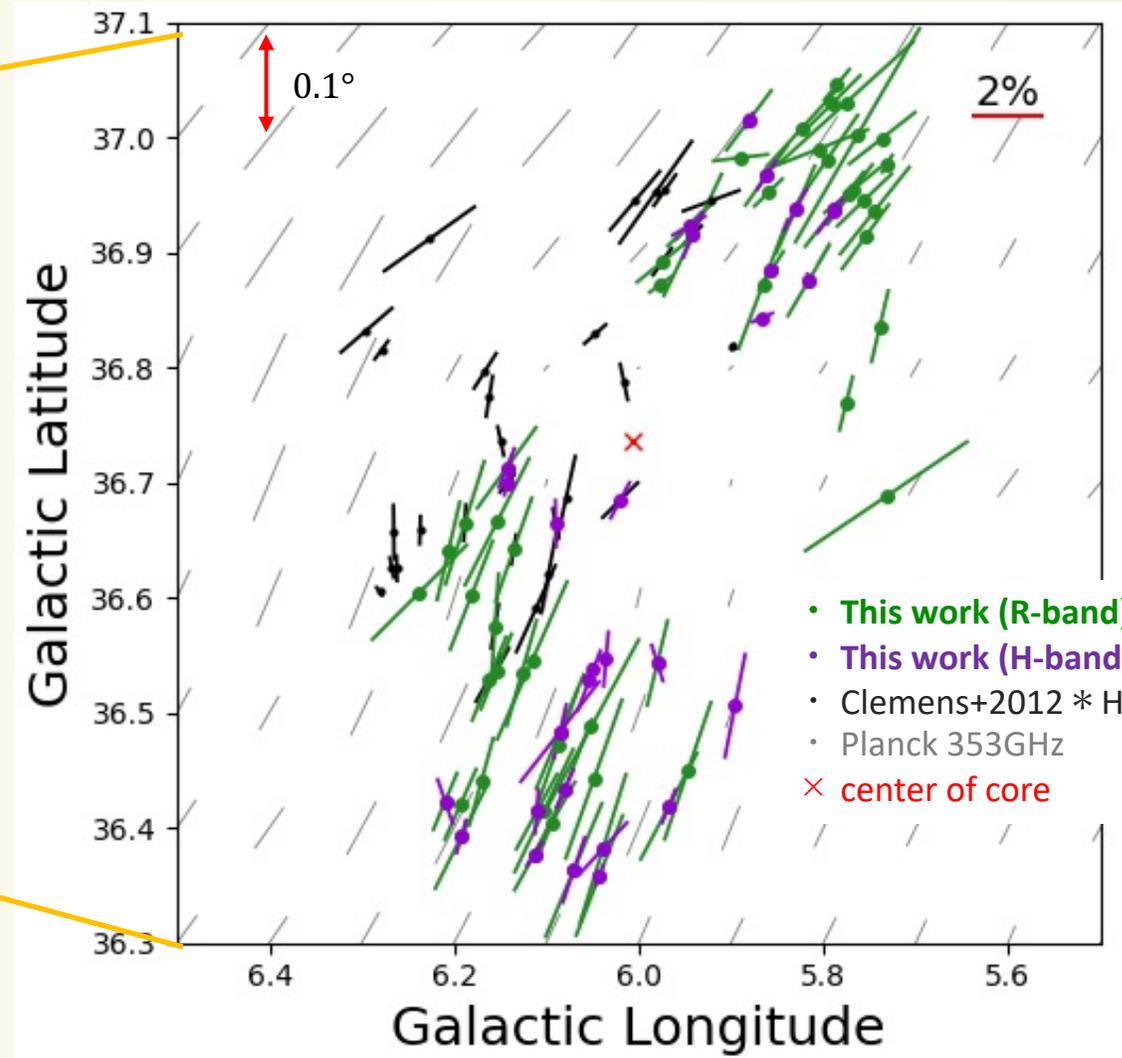


プランク衛星 353GHz偏光マップ (0.1°ステップ)  
背景： $N_H$ マップ(あかり衛星)

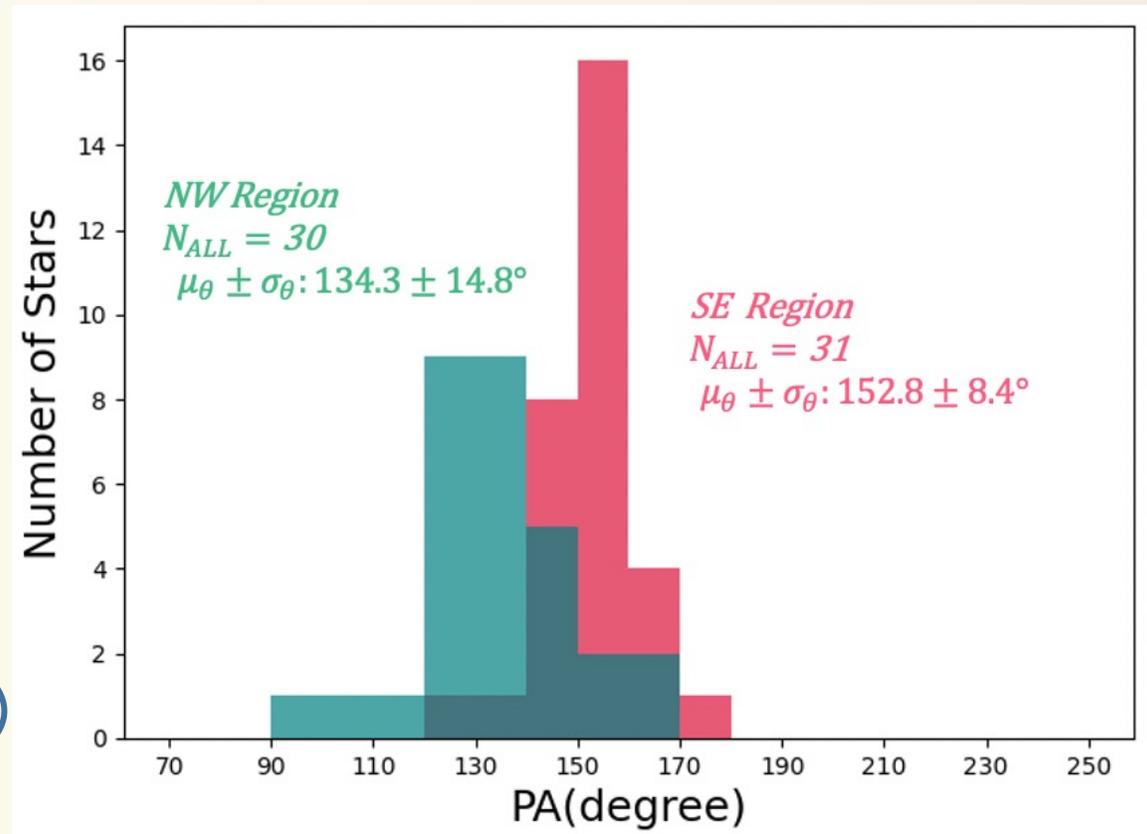
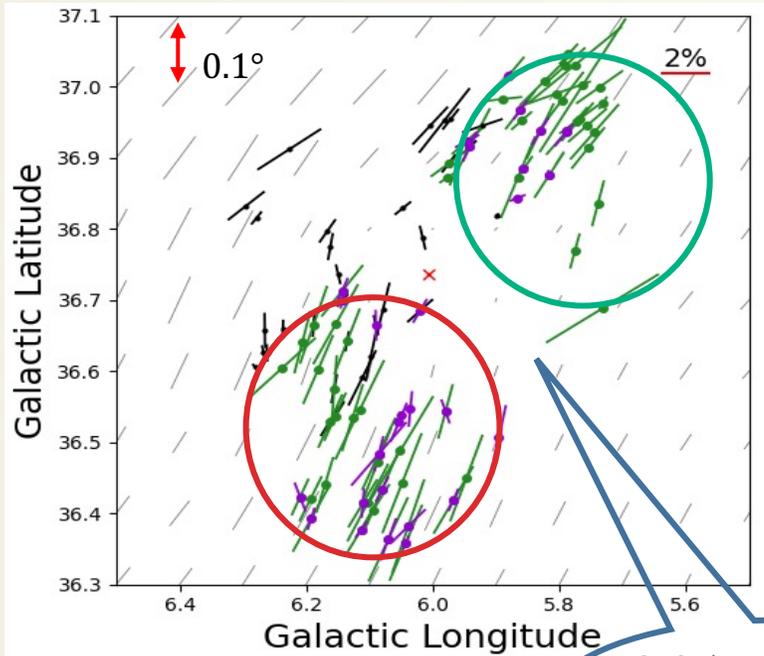
# Result : Polarization Map



プランク衛星 353GHz偏光マップ  
(0.1°ステップ)  
背景： $N_H$ マップ(あかり衛星)



# Discussion : Magnetic Field Alignment



- ・各領域内では比較的向きが揃っている
    - ・北西領域の方がバラつきが大きい
- 乱流によって磁場が乱され、歪められている可能性

# Discussion : Magnetic Field Strength

Davis-Chandrasekhar-Fermi法を用いて磁場強度の天球面成分 $B_{pos}$ を計算

$$\frac{B_{pos}}{\mu\text{G}} = 9.3 \times \sqrt{\frac{n_{H_2}}{\text{cm}^{-3}}} \times \frac{\Delta v}{\text{kms}^{-1}} \times \left(\frac{\delta\theta}{1^\circ}\right)^{-1} \quad \text{Crutcher+ 2005}$$

$n_{H_2}$  : 水素分子の数密度、  $\Delta v$  : ガスの乱流速度、  $\delta\theta$  : 偏光方位角のばらつき  
Laureijs + 1995 This work

→ 磁場の整列度合いから磁場強度の推定

	MBM 37 NW	MBM 37 SE
$B_{pos}$	$21 \pm 5\mu\text{G}$	$37 \pm 8\mu\text{G}$

高銀緯分子雲や単独で存在する分子雲の磁場強度は $10\sim 20\mu\text{G}$  (Neha+ 2018)

→同類の中でMBM 37は磁場強度が強い

# Discussion : Virial Analysis

アルヴェーン波：磁力線に沿って伝わる磁気流体波、位相速度 $V_A$ で伝播

$$M_A = \frac{\sqrt{3}\Delta v}{V_A} \text{ (乱流速度とアルヴェーン波の速度の比)}$$

$$V_A = \frac{B_{tot}}{\sqrt{4\pi\rho}}, \quad B_{tot} : \frac{4}{\pi} B_{pos}, \quad \rho : \text{質量密度} (\mu n_{H_2} m_H)$$

Crutcher+ 2004

$M_A > 1$  のとき乱流圧 > 磁気圧

各エネルギーの比であるビリアルパラメータ  $\alpha_{vir_{tot}}$

$$\alpha_{vir_{tot}} = \frac{2E_k + E_B}{|E_G|} = \frac{3(5-2a)R}{(3-a)GM} \left( \Delta v^2 + \frac{V_A^2}{6} \right)$$

$M$  : 質量、 $R$  : 半径、球形の場合  $a = 2$

Rawat+ 2024

$\alpha_{vir_{tot}} < 2$  のとき重力収縮により星が形成

	MBM 37 NW	MBM 37 SE
$M_A$	$1.4 \pm 0.3$	$0.8 \pm 0.2$
$\alpha_{vir_{tot}}$	$8.7 \pm 3.0$	$12 \pm 3.3$
$E_k$	$5.4 \times 10^{44}$ erg	$5.4 \times 10^{44}$ erg
$E_B$	$2.7 \times 10^{44}$ erg	$8.4 \times 10^{44}$ erg
$E_G$	$1.6 \times 10^{44}$ erg	$1.6 \times 10^{44}$ erg

→磁場と乱流は概ね拮抗

どの領域でも星形成の兆候が見られないことにコンシステント

# Discussion : Magnetic Tension

大曲的な磁場の湾曲  
 → 湾曲を真っ直ぐにするような方向に磁気張力

$$f_{tension} = 5 \times 10^{-26} \left( \frac{B}{1\text{mG}} \right)^2 \left( \frac{0.5\text{pc}}{R} \right) \text{dyn cm}^{-3}$$

D. A. Schleuning 1998

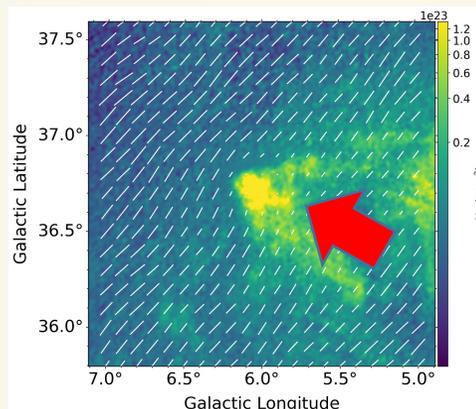
釣り合い

||| R: 曲率半径

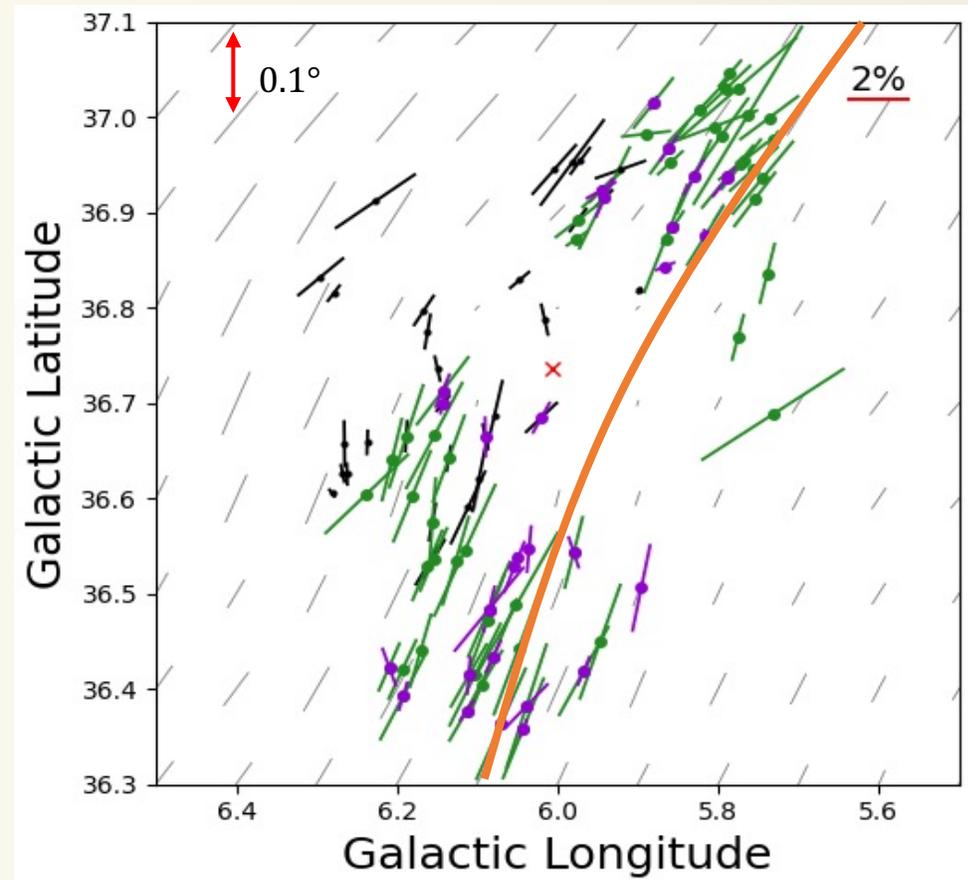
$\rho v^2$  (ラム圧)



推定移動速度 : ~0.8 km/s  
 (周辺的气体速度 : ~1.2 km/s  
 Laureijs + 1995)



MBM 37 の形状 :  $N_H$  map (あかり衛星)  
 赤矢印 : 移動方向?



MBM 37周縁部の偏光マップと曲率円 (橙線)

# Summary

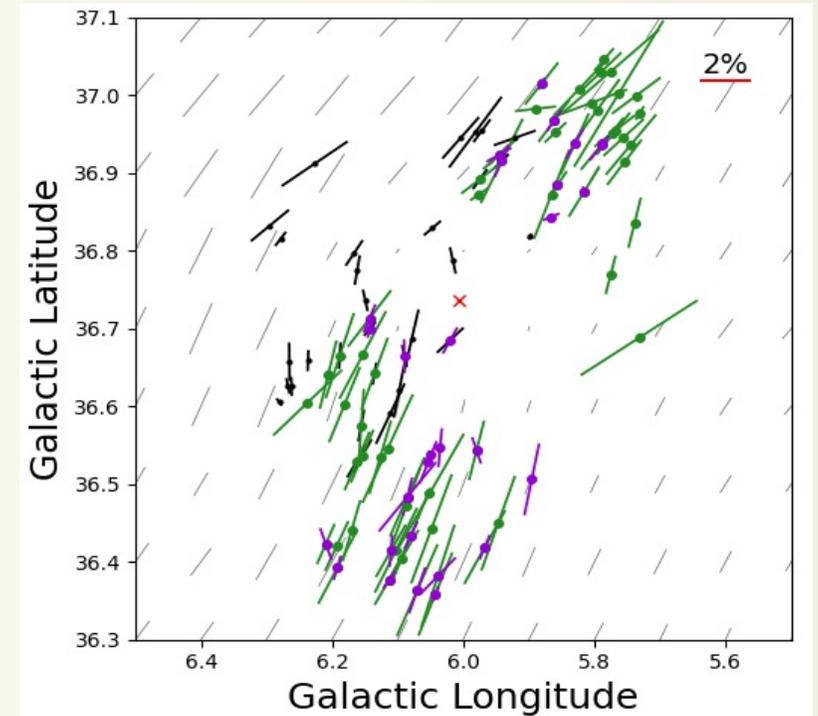
## Summary

MBM 37分子雲の星無しコア周縁部の偏光観測を行った  
導出された磁場強度は同類の分子雲よりも強い  
乱流との比較を行い、ビリアル解析を行った

→ **星が形成されないような環境であることの判明**

## Future Work

先行研究での観測が無い南西領域の追観測や近くに存在する同類の分子雲の観測





# Appendix

# Stokes Parameter

$$I = \sum_{\theta} (I_O(\theta) + I_E(\theta))$$

$$\frac{Q}{I} = \frac{1 - a_1}{1 + a_1} \quad a_1 = \sqrt{\frac{I_E(0^\circ)}{I_O(0^\circ)} / \frac{I_E(45^\circ)}{I_O(45^\circ)}}$$

$$\frac{U}{I} = \frac{1 - a_2}{1 + a_2} \quad a_2 = \sqrt{\frac{I_E(22.5^\circ)}{I_O(22.5^\circ)} / \frac{I_E(67.5^\circ)}{I_O(67.5^\circ)}}$$

$I_O(\theta)$ : Brightness of ordinary light

$I_E(\theta)$ : Brightness of extraordinary light

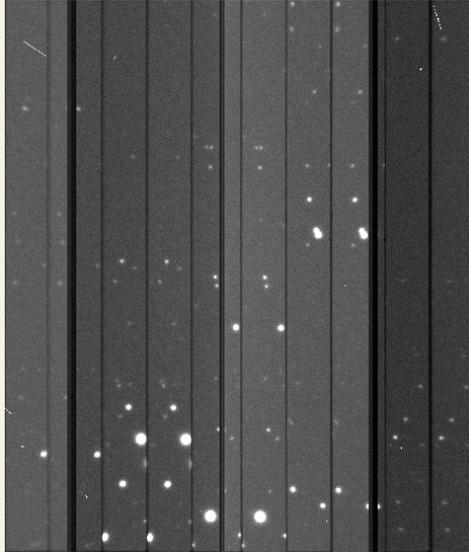
$$P = \frac{\sqrt{(Q^2 + U^2)}}{I}$$

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \frac{U}{Q}$$

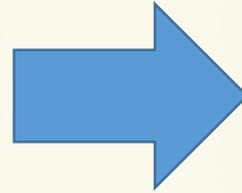
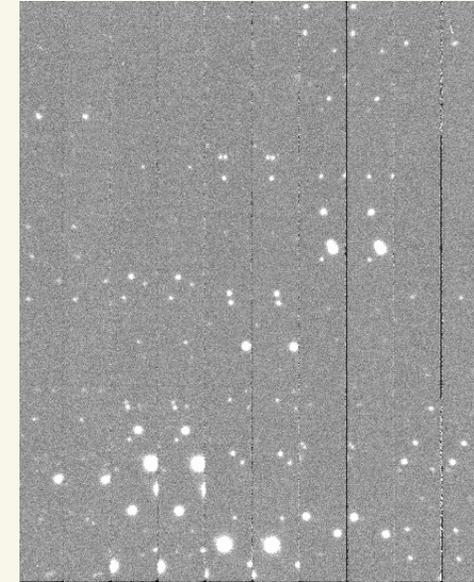
# 解析方法

パイプライン(Pythonベース；笹田氏)  
の使用により一次処理を実行

一次処理前



一次処理後



半波長板角度  
 $0^\circ, 45^\circ, 22.5^\circ, 67.5^\circ$ の  
常光・異常光 計8枚の合成

パラメータ計算パイプライン(Pythonベース：笹田、森、中村)  
の使用により偏光パラメータの導出

一次処理済みの画像

→スタッキング画像の作成、天体位置検出(SExtractor)

→測光(SExtractor)

→偏光パラメータの算出

# Used Parameter

MBM 37

$$n_{H_2} = 0.74 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\Delta v = 1.23 \pm 0.27 \text{ km/s}$$

$$M = 12 M_{\odot}$$

$$R = 0.08 \text{ pc}$$

Laureijs + 1995

About L183

Zhou + 2001

L 1517

$$n_{H_2} = 2 \times 10^3 \text{ cm}^{-3}$$

$$\Delta v = 0.54 \pm 0.09 \text{ km/s}$$

$$M = 8.0 M_{\odot}$$

$$R = 0.26 \text{ pc}$$

Sharma + 2022

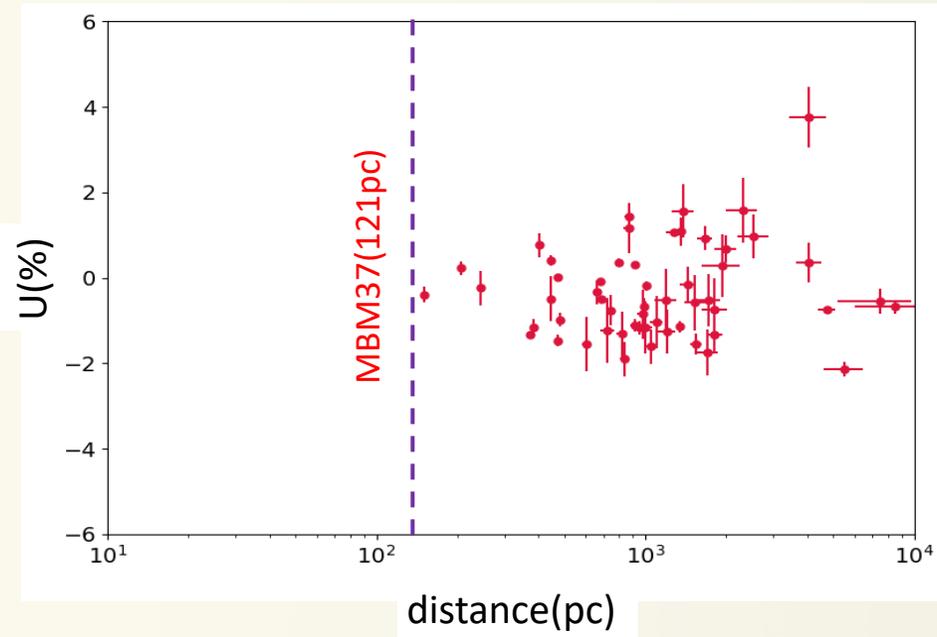
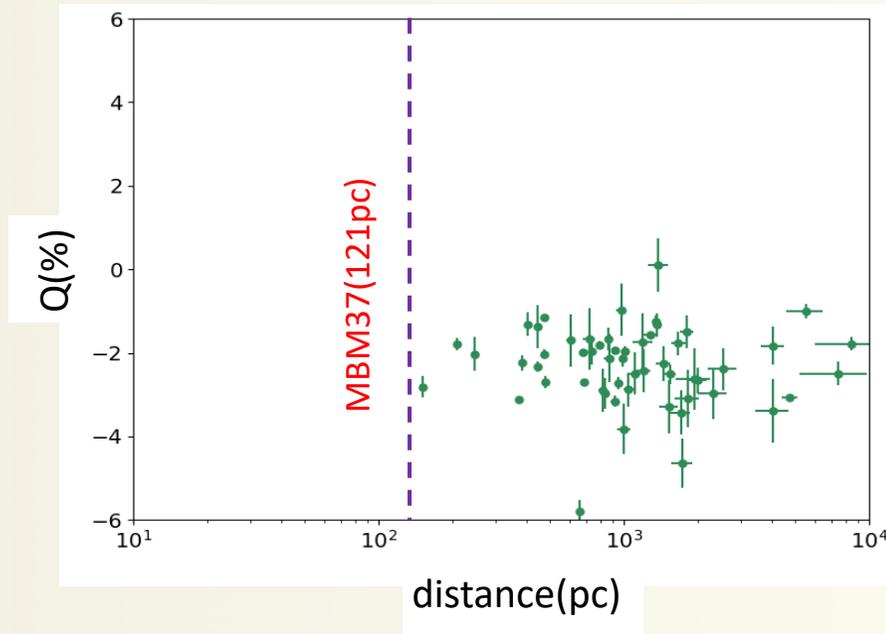
Hacar + 2016

Hacar + 2011

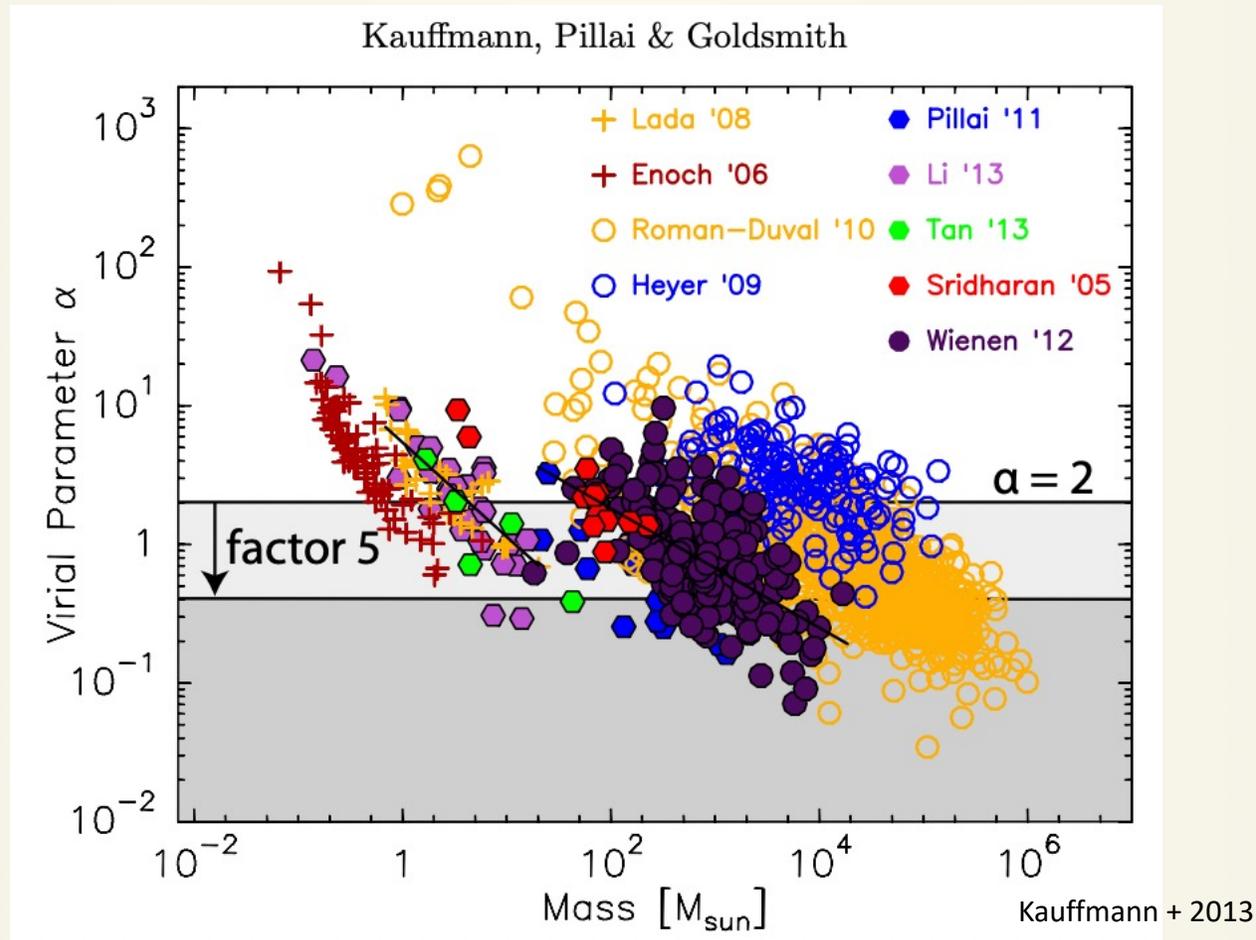
$$N_H = A_G \cdot 2.21 \times 10^{21} / 0.789$$

# Result : Parameter vs Distance

- Plot distance vs stokes parameter (u and q)
- Distance dependence is not appear
- Background stars are affected only this cloud, and **no other cloud or structure** to radial direction

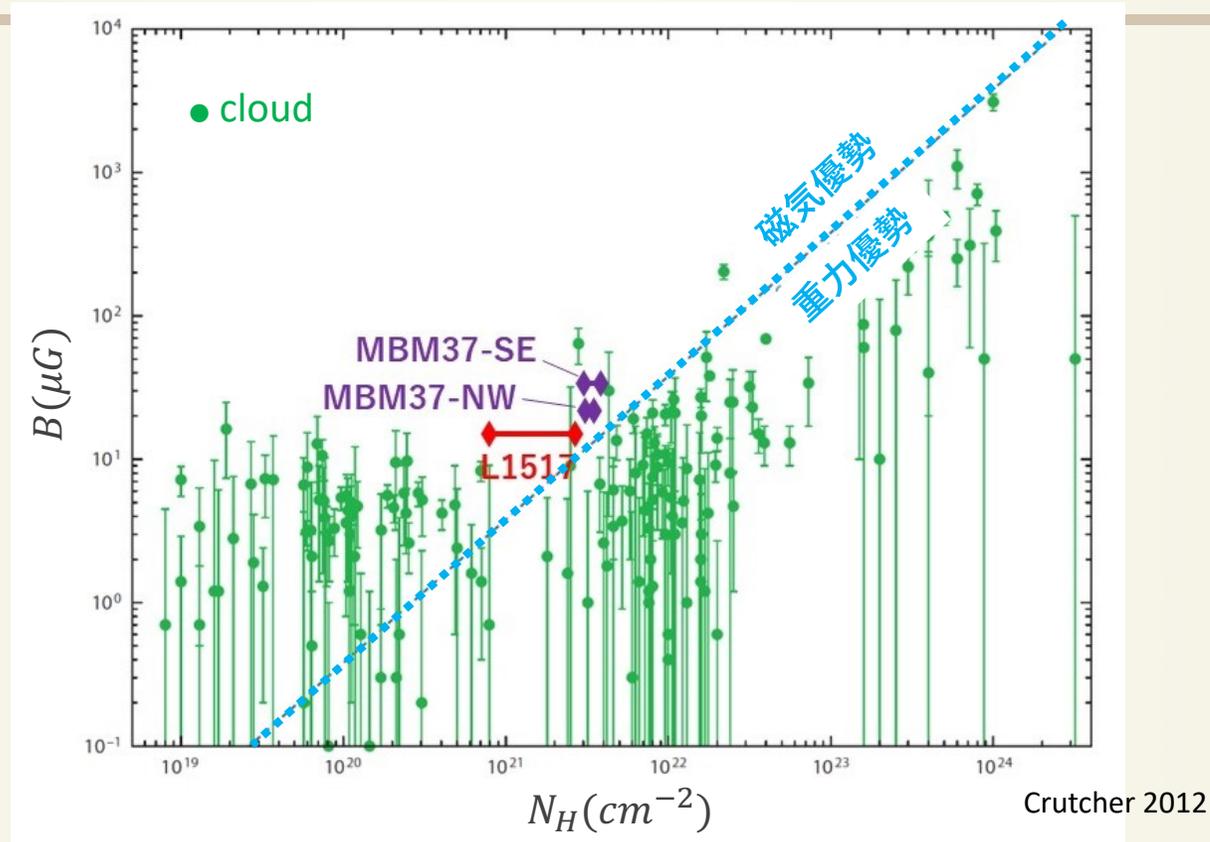


# Virial Parameter of Star Formation Region



Not include magnetic energy effect

# 考察



- 本研究で観測した領域はどちらも重力優勢ではない
- **磁気圧が自己重力に抗って、分子雲の収縮を抑制**
- **星形成に至っていない**