

かなた望遠鏡HONIRを用いた可 視近赤外線偏光観測による星無 し分子雲コア周縁部の磁場構造

堀友哉,川端弘治,丸田哲温(広島大学),土井靖生(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)

OISTER WS 2024 3/8

背景1

星形成過程

星間分子雲 → 分子雲コア → 原始星

ガスだけでなく、乱流や磁場も形成過程に影響

偏光観測：磁場のプローブ → 偏光ベクトルが磁場の向きを表す
偏光マッピングにより磁場構造を可視化

星無し分子雲コア

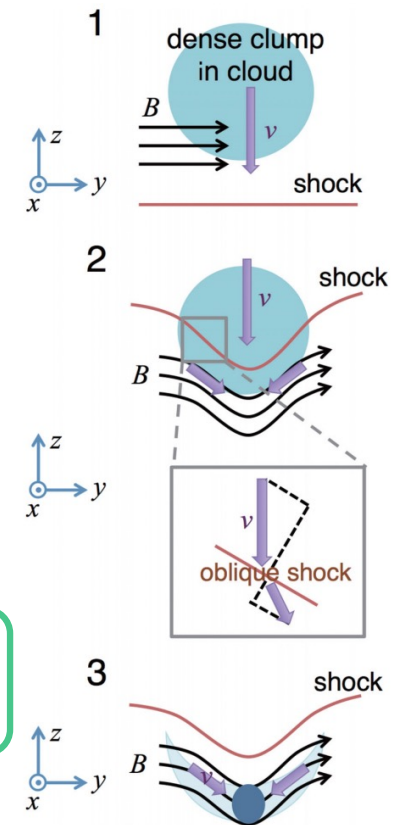
星形成の兆候が見られない分子雲コア → 星無し分子雲コア (Starless Core)

- ・ 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

重力収縮



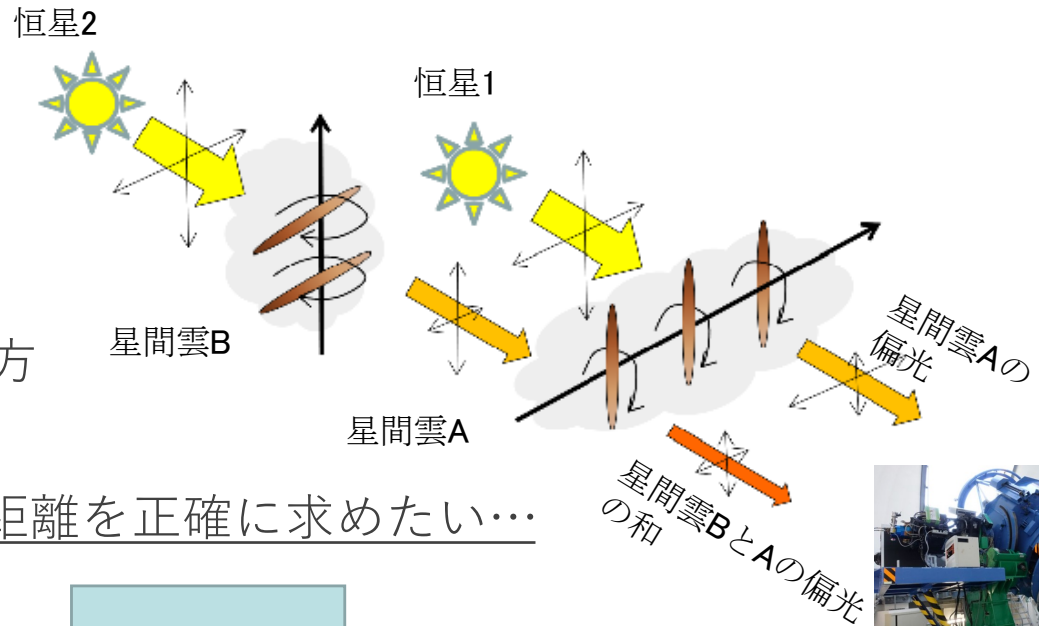
磁場・乱流による星形成への影響

Inoue+ 2017

背景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

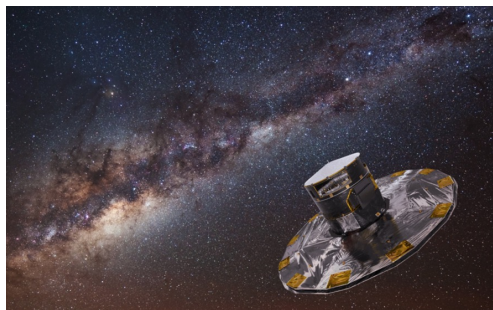


星の距離を正確に求めたい...



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

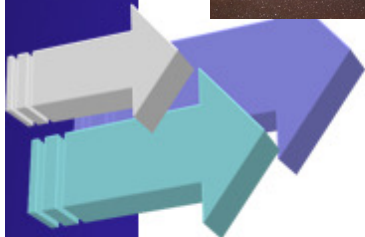


位置天文衛星ガイア
Credit: Gaia,ESA

偏光観測 + ガイアのデータ



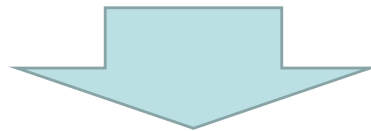
個々の星間雲の偏光の導出が可能に！



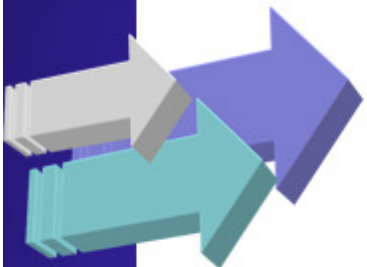
本研究の目的

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



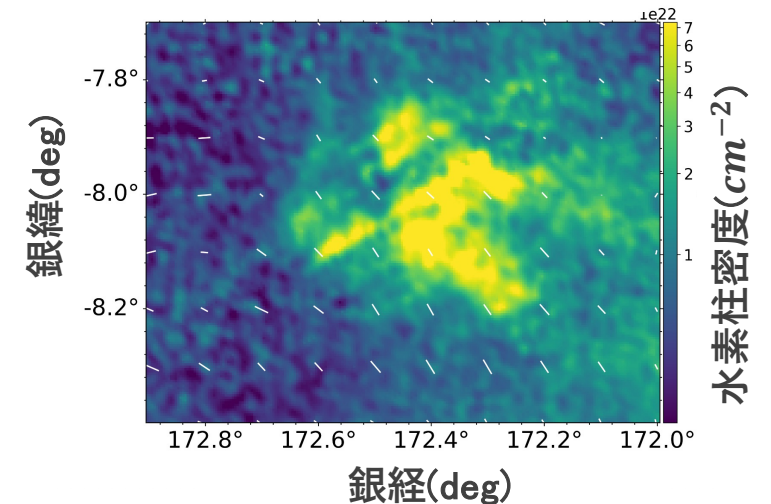
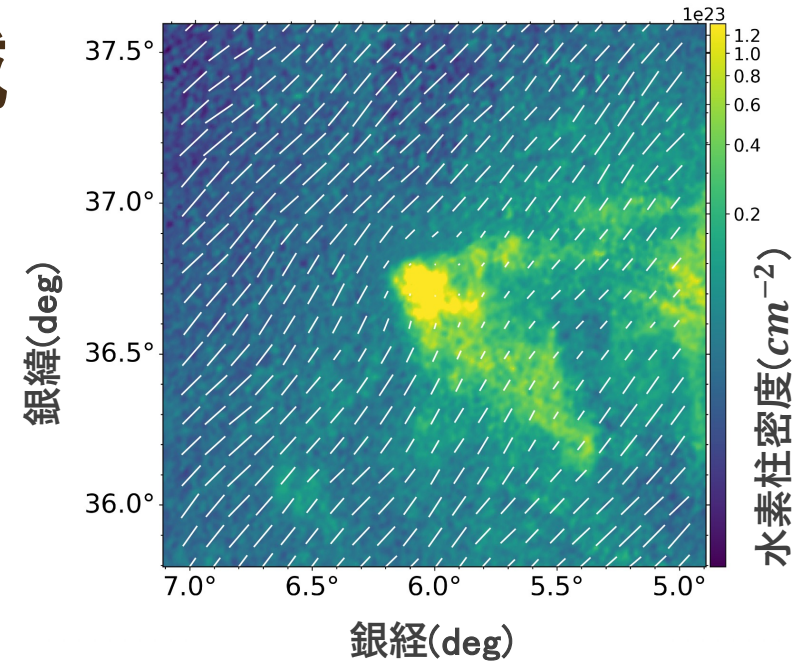
観測領域

MBM 37

- ・ 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 ~ 121 pc と近傍 (Schlafly+ 2014)
- ・ 高銀緯ながら銀経が小さく背景星が多い

L 1517

- ・ 若い Herbig Ae 型星が近くに存在
- ・ 距離 ~ 160 pc と近傍 (Bailer-Jones+ 2018)
- ・ 反銀河中心方向ながら銀河面に近く背景星が多い



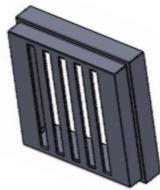
プランク衛星 353GHz偏光マップ
(0.1° ステップ)

背景: N_H マップ(あかり衛星)

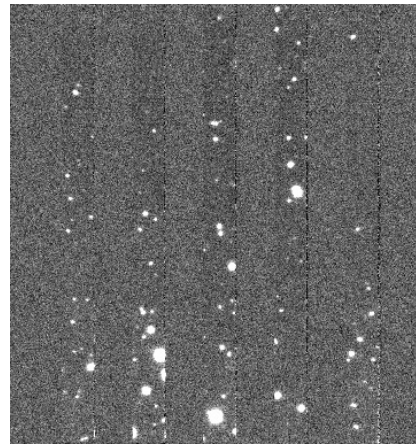
上図: MBM 37、下図: L 1517

観測・データリダクション

- 観測期：MBM 37 2023.5月 - 9月(7領域)
L 1517 2023.11月 - 2024.1月(4領域)
- 広島大学かなた1.5m望遠鏡
- 可視赤外線同時カメラHONIR(10'×10'の視野)
- 偏光モード：焦点マスク + 半波長板(4方位) + ウォラストンプリズム
- Rバンド($0.65 \mu\text{m}$)、Hバンド($1.64 \mu\text{m}$)同時観測



焦点マスク

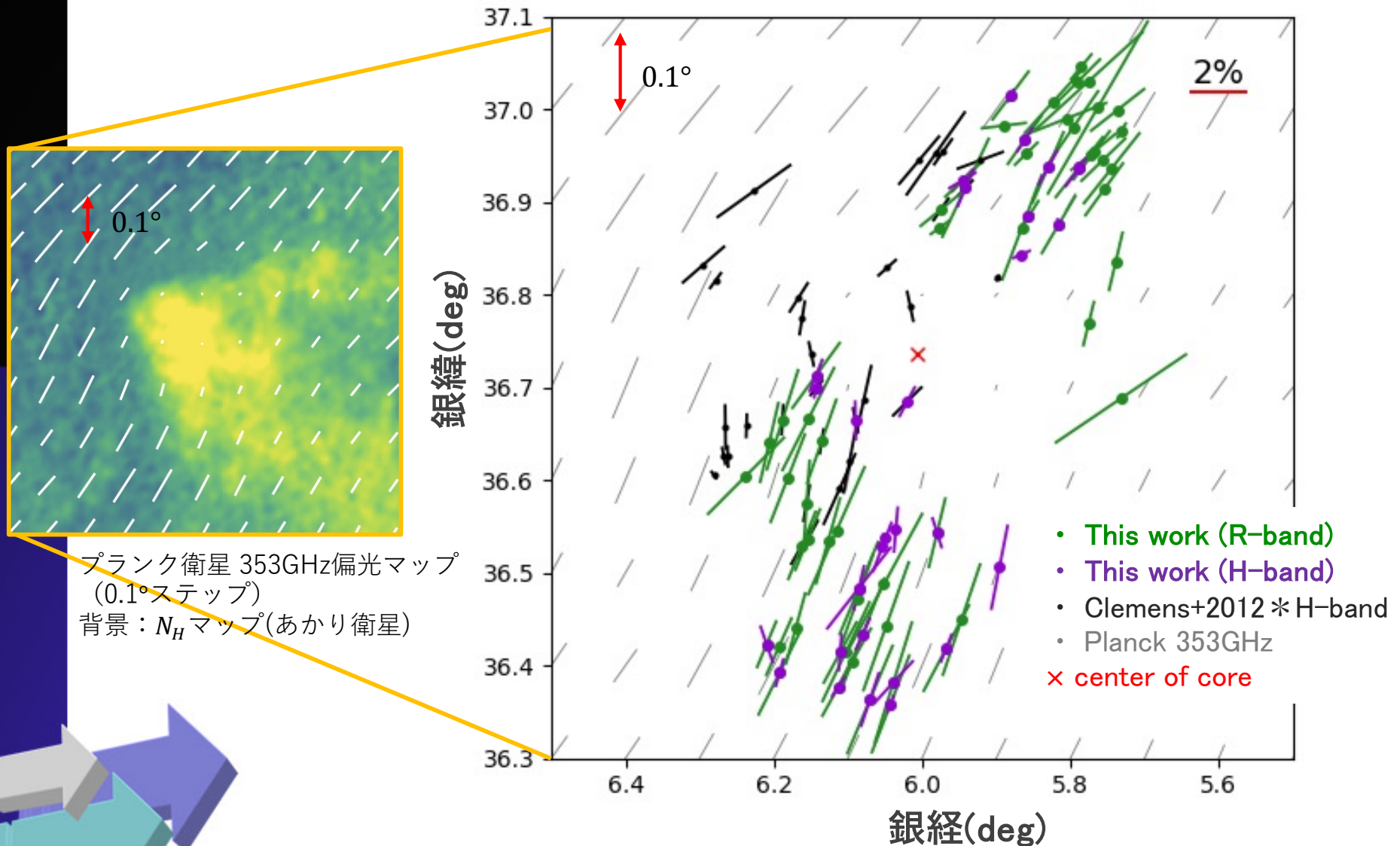


焦点マスクによって限定される視野

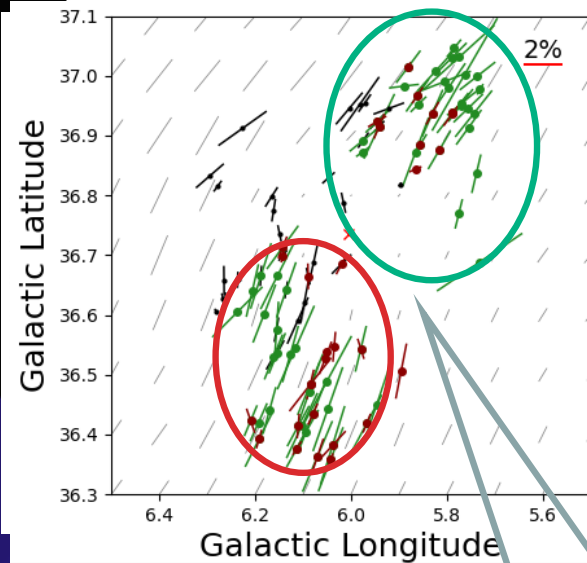


かなた望遠鏡とHONIR

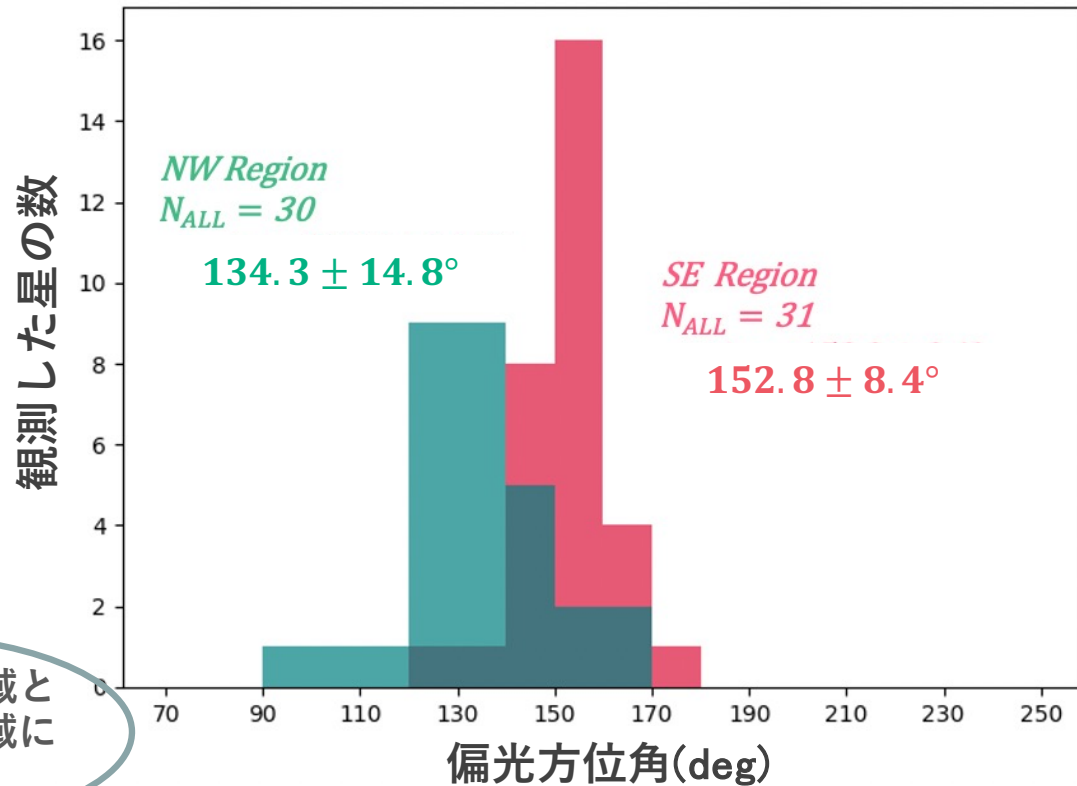
結果：偏光ベクトルマップ(MBM 37)



考察：場所による磁場の整列度合い



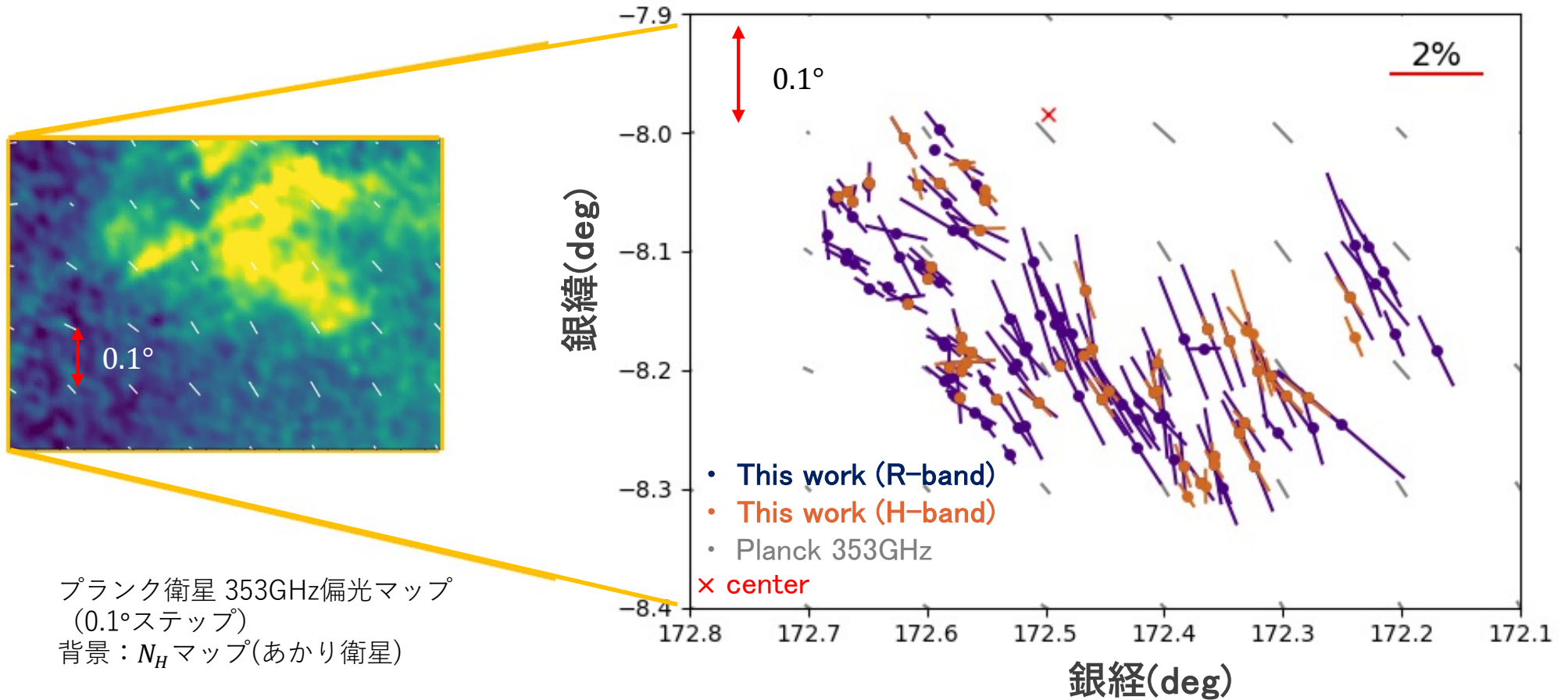
南東(左下)領域と
北西(右上)領域に
分割



- ・ 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

結果：偏光ベクトルマップ(L 1517)



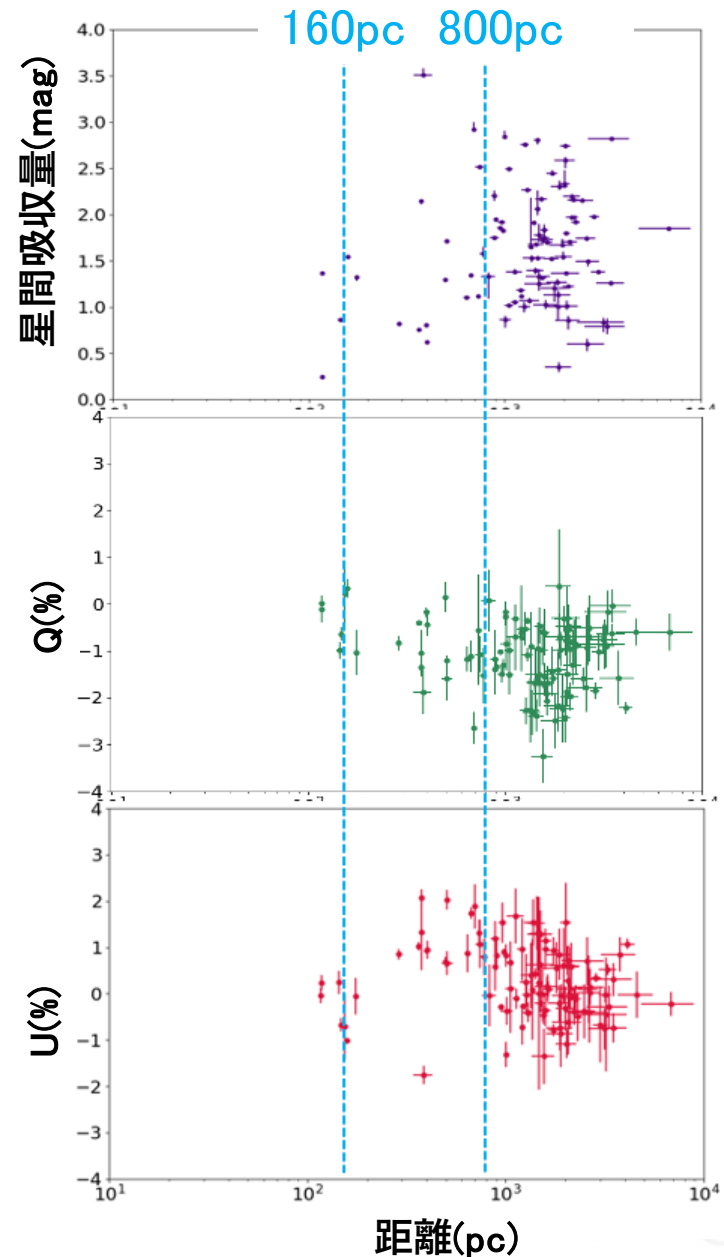
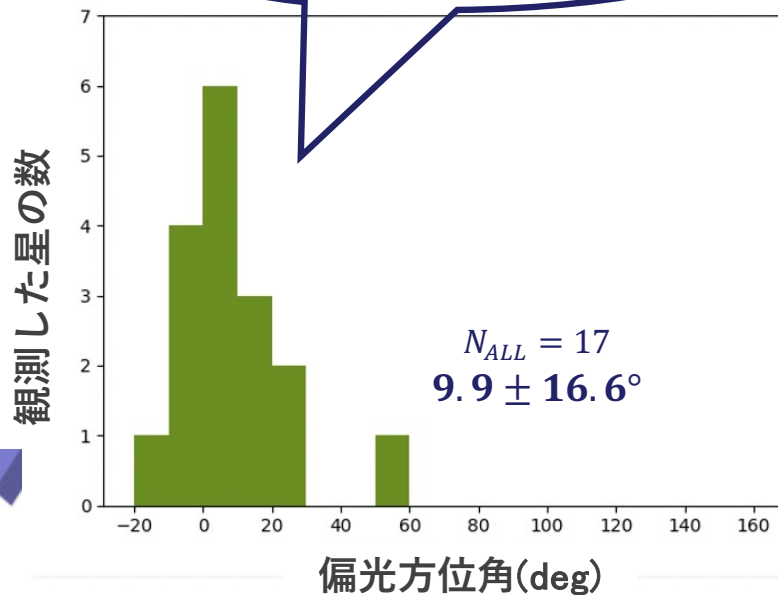
プランク衛星 353GHz偏光マップ
(0.1°ステップ)
背景： N_H マップ(あかり衛星)



結果：距離における各成分(L 1517)

- 160pc(L 1517の距離)と800pcで星間吸収量とUが変動
- 800pc付近で他の分子雲状構造の示唆

160-800pcに位置する星はL 1517による偏光の影響
→その距離にある星を抽出



考察：磁場強度

Davis-**C**handrasekhar-**F**ermi法を用いて磁場強度の天球面成分 B_{pos} を計算

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

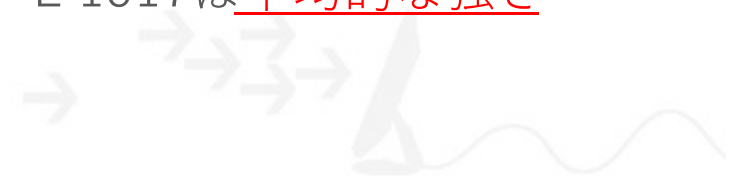
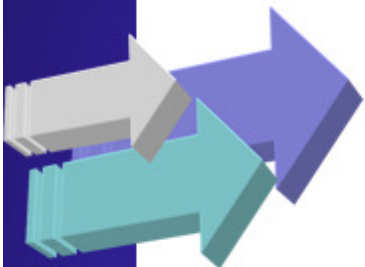
n_{H_2} ：水素分子の数密度、 Δv ：ガスの乱流速度、 $\delta\theta$ ：偏光方位角のばらつき

→磁場の整列度合いから磁場強度の推定

	MBM 37 北西	MBM 37 南東	L 1517
B_{pos}	$21 \pm 5 \mu G$	$37 \pm 8 \mu G$	$14 \pm 2 \mu G$

高銀緯分子雲や単独で存在する分子雲の磁場強度は $10 \sim 20 \mu G$

→同類の中でMBM 37は磁場強度が強く、L 1517は平均的な強さ



考察：ビリアル解析

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

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

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

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 $\alpha_{vir_{tot}}$

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

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 北西	MBM 37 南東	L 1517
M_A	1.4 ± 0.3	0.8 ± 0.2	1.5 ± 0.3
$\alpha_{vir_{tot}}$	8.7 ± 3.0	12 ± 3.3	8.0 ± 4.8

→ 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

まとめ

MBM 37

- ・ 偏光マップは全体的に周囲の星間偏光とコンシステント
→ 北西領域に関しては少しずれているものあり → 乱流による影響?
- ・ 磁場強度は同類の分子雲の中では強め

L 1517

- ・ 偏光マップは全体的に周囲の星間偏光とコンシステント
- ・ L 1517よりも遠方に別の構造が見える → 初めて確認
- ・ 磁場強度は同類の分子雲の中では典型的な強さ

乱流との比較→ビリアル解析



今回観測した2領域は星が形成されないような環境

