

可視近赤外線偏光観測による銀河磁場探査

中村謙吾, 川端弘治 (広島大学), 土井靖生 (東京大学), 松村雅文 (香川大学)

1. Introduction A

銀河磁場

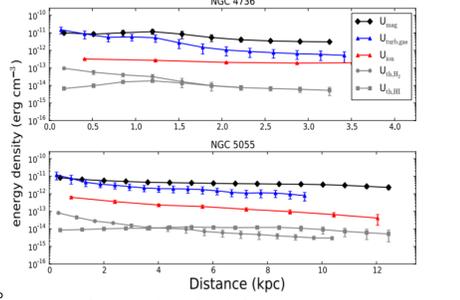
星間物質中の磁場のエネルギー密度 U_{mag} は他の要因 (星間乱流、イオン化ガス、etc.) と同等かそれ以上

銀河磁場はエネルギー的に大きな役割を果たしている。

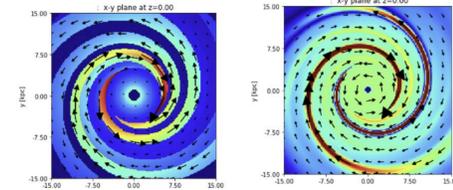
しかし...

銀河スケールでの磁場構造の研究が進んでいるが、よくわかっていない点も多い。

偏光観測による銀河大局磁場構造や星間磁気乱流スペクトルの測定



星間空間のエネルギー密度 (A. Basu and S. Roy 2013)

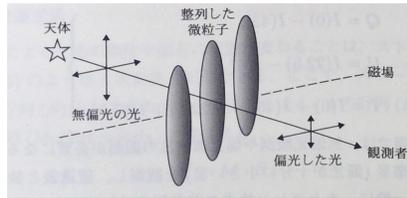


大局的銀河磁場のモデル例 (左: Jansson & Farrar 2012 右: Jaffe+ 2013)

偏光観測

太陽や白熱球などの自然光 様々な振動面を持った電磁波が混ざっている状態: 無偏光

無偏光の光が磁場中のダストを通過



星間ダストによる偏光の様子 (シリーズ現代の天文学6)

自転している回転楕円形ダストは、磁場と垂直な向きに角運動量ベクトルを持つ。そしてその向きが楕円の短軸の方向。(ラーモア歳差運動などの影響)

星間ダストの典型的サイズ (半径) $\sim 0.1 \mu\text{m}$ 可視光波長の数分の1であり、非球状粒子の選択的吸収によって生じる偏光は可視域にピークを持つ

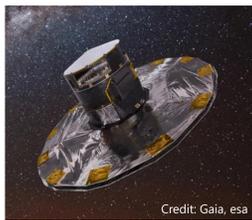
光は長軸に平行な成分が吸収、散乱されやすい短軸に平行な成分は透過

磁場と平行な方向に偏光 (可視域付近)

位置天文衛星ガイア

主に天の川銀河内の非常に暗い20等星までの天体を調査し、銀河の3Dマップを作成することを目的としている。

視差の精度 7 μs : G=10等級; 26 μs : G=15等級; 600 μs : G=20等級



Credit: Gaia, esa

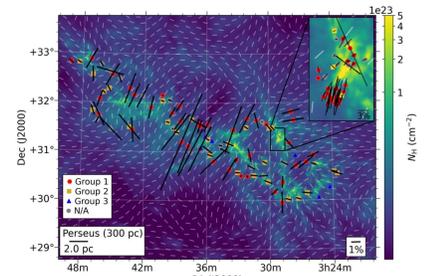
天体の位置や距離がより正確に分かるようになった。

偏光データ + ガイアの位置・距離データ → 三次元的な磁場構造

2. Introduction B

過去の偏光観測とGaiaカタログを組み合わせた磁場構造の研究例 (Doi, Hasegawa, Bastien et al., ApJ, 2021)

ペルセウス座分子雲領域 (おうし座分子雲の外縁部とも重なっている)



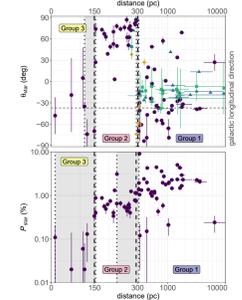
視線方向に積分した天球面方向の磁場は二つの分子雲の磁場による偏光のベクトル和と考えられる。

偏光度・偏光方位角と距離の関係

偏光度、偏光角ともに150 pc、300 pcで不連続

2つのダスト雲 ($d \sim 150\text{pc}, 300\text{pc}$) の存在

	Distance (pc)	N_{star}^a	θ_{star}^b (deg)	P_{star} (%)
Group 1	> 300	39	-37.6 ± 35.2	2.0 ± 1.7
Group 2	150 - 300	25	$+66.8 \pm 19.1$	0.8 ± 0.6
Group 3	< 150	6	-41.8 ± 32.0	0.1 ± 0.1



おうし座分子雲 (の外縁) ペルセウス座分子雲

ストークスパラメータ

Group2 (150-300 pc): おうし座分子雲の影響のみ
Group1 (>300 pc): (ペルセウス座分子雲の影響)+(おうし座分子雲の影響)

ペルセウス座分子雲による影響を知るためには、(Group1)-(おうし座分子雲の寄与) を考える必要がある。

ストークスパラメータの導入

I : 全電磁波強度 ($E_x^2 + E_y^2$)

Q : 天球上での電場の振動方向が南北である偏光成分 ($E_x^2 - E_y^2 = I \cos 2\beta \cos 2\theta$)

U : 電場の振動方向が方位角45度である偏光成分 ($I \cos 2\beta \sin 2\theta$)

$$q = \frac{Q}{I}, u = \frac{U}{I} \quad q_{\text{Group1}} = q_{\text{Taurus}} + q_{\text{Perseus}}, \quad q_{\text{Group2}} = q_{\text{Perseus}}$$

$$u_{\text{Group1}} = u_{\text{Taurus}} + u_{\text{Perseus}}, \quad u_{\text{Group2}} = u_{\text{Perseus}}$$

二つの分子雲でのそれぞれの偏光

$$q_{\text{Perseus}} = q_{\text{Group1}} - q_{\text{Group2}}$$

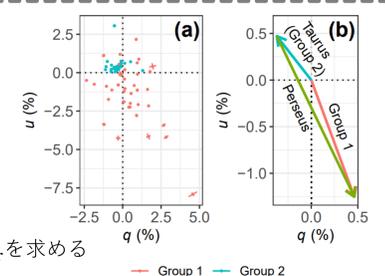
$$u_{\text{Perseus}} = u_{\text{Group1}} - u_{\text{Group2}}$$

$$q_{\text{star}} = P_{\text{star}} \cdot \cos(2\theta_{\text{star}})$$

$$u_{\text{star}} = P_{\text{star}} \cdot \sin(2\theta_{\text{star}})$$

$q_{\text{star}}, u_{\text{star}}$ から偏光度 P_{star} と偏光方位角 θ_{star} を求める

Cloud	θ_{star} (deg)	P_{star} (%)	A_G (mag)	P_{star}/A_G (%/mag)
Taurus	$+66.8 \pm 19.1$	0.8 ± 0.6	0.32 ± 0.21	1.5 ± 0.3
Perseus	-30.0 ± 25.2	2.4 ± 1.8	1.61 ± 0.58	1.5 ± 0.2



ダスト雲ごとの磁場情報を明らかにした。

3. Purpose

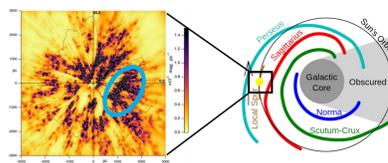
新たにより細かいスケールで多数の恒星の偏光観測を実施。
近赤外域の観測も併用しより吸収の大きな(遠い)恒星の偏光サンプルを得る。
Gaiaカタログを併用し、磁場構造の奥行方向の情報を得て、銀河磁場構造の解明の一步へ。

4. Current Status

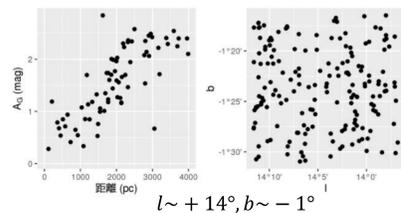
まず特徴的な領域をいくつか選択してそこから観測に取り掛かる。

観測領域候補 #1 (いて座付近)

- 銀河面の $l = -30^\circ \sim +20^\circ$ は手前の local arm のクラウドが抜け、その奥の Carina-Sagittarius arm が見えている。
- 銀河中心付近を観測することで、観測可能な星の数を増やせる。
- 分子雲が厚すぎると、背景の天体からの光が観測できない。
- 背景が見通せ過ぎてしまうと、ガスが存在せず、大局的な一様磁場のみが見える。



星間ダスト分布 (グラフ中心が太陽系、右方向が銀河中心)



見かけの偏光パターンが特異で、空間的・距離的に星がまんべんなく分布している領域

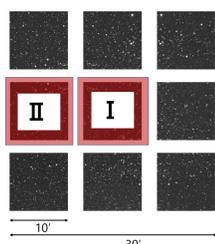
星が多く、一様に分布しており、分子雲も存在している $l \sim +14^\circ, b \sim -1^\circ$ を観測

かなた望遠鏡・HONIR



HONIR 可視近赤外線同時撮像・分光・偏光観測装置 $10' \times 10'$ の広い視野で高精度 ($\Delta p = 0.1-0.2\%$) の偏光観測を行う。

$l \sim +14^\circ, b \sim -1^\circ$ を中心とした $30' \times 30'$ の領域をかなた望遠鏡を用いて $10' \times 10'$ ずつ、9領域を観測する。

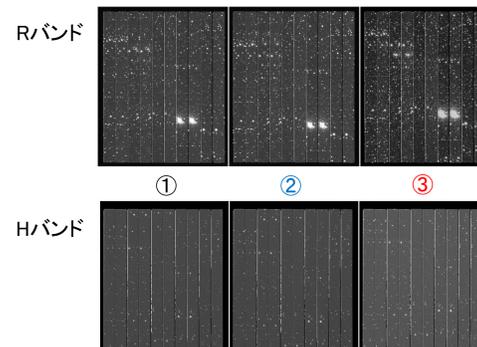


観測の詳細

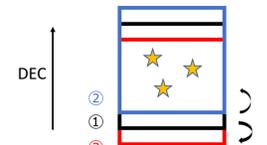
領域	バンド	露光時間[s]	半波長板方位角[deg]	ディザ	合計フレーム数
I	R	75	0, 45, 22.5, 67.5	3x3	72
	H	60	0, 45, 22.5, 67.6	3x3	
II	R	75	0, 45, 22.5, 67.5	3x3	72
	H	60	0, 45, 22.5, 67.6	3x3	

観測結果

一次処理済みの観測画像



・ディザリング



目的の天体が、感度の悪いピクセル上に来たときのために、少しずらした領域を観測する。

観測済みの領域に対して解析を進めている。
ガイア衛星の星の位置・距離データとの照合を行い、最終的には偏光ベクトルマップを作成する。

新たな観測領域の選定

夏(いて座)の領域だけでなく、冬の領域の観測に取り掛かる予定である。

現在は、おうし座の領域でいくつか候補領域を選定しており、冬の領域に対しても、同様の観測・解析を進めていく。