

可視偏光サーベイ計画SGMAP: 北天銀河面の可視近赤外サーベイと南天観測の海外協力



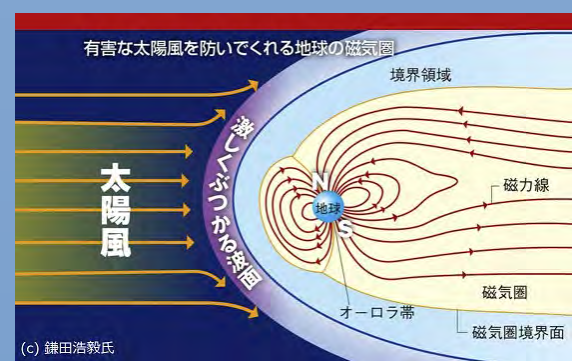
川端弘治(広島大学)、秋田谷洋(千葉工業大学)、ほかSGMAP協力グループ



Background and Impacts of optical polarimetry and Galactic magnetic field

磁場 — 宇宙に普遍的に存在

渦巻銀河において星間乱流や宇宙線のエネルギー密度を凌駕



高温ガス・宇宙線は磁場に沿った方向にしか動けない
→ 磁場が物質の移動を制御 (例: オーロラは極地方のみ)

磁場は宇宙の物質進化(星生成ほか)の屋台骨

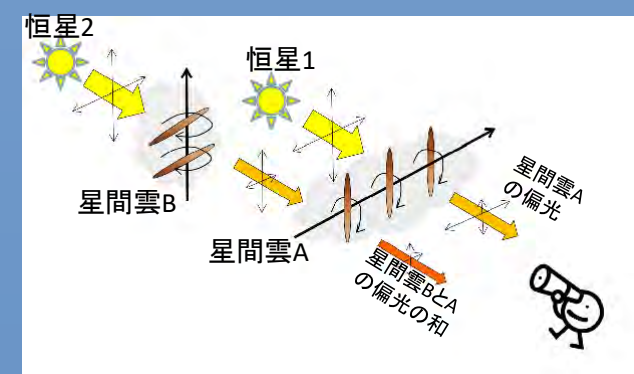
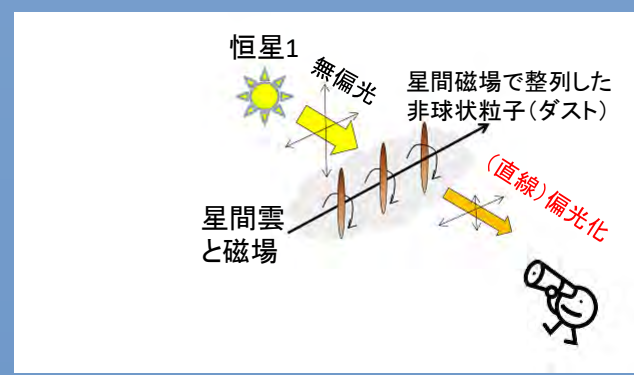
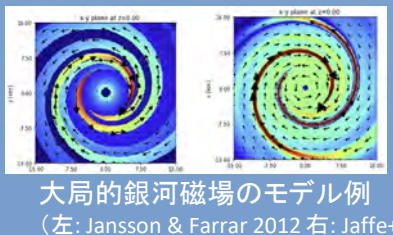
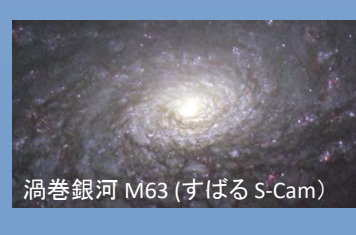
しかし、銀河磁場の大局構造や盛衰機構は依然不明
磁場は「見えない」

磁場を可視化するツール: 星間ダストの「偏光」

→ 途中の星間雲内の非球状ダストが磁場に垂直に整列
→ 偏光から磁場の向き、強度、星間ダスト粒子径が判る

遠方の恒星の光は複数の星間雲で偏光されており、観測される偏光はそれらのベクトル和。

近年、Gaia衛星による多数の恒星の距離測定が進行中(最終カタログ発行 2020-21年) → 多数の恒星の偏光を調べ上げ、距離ごとに偏光をベクトル分解 → 星間雲ごとに磁場を分離可能に



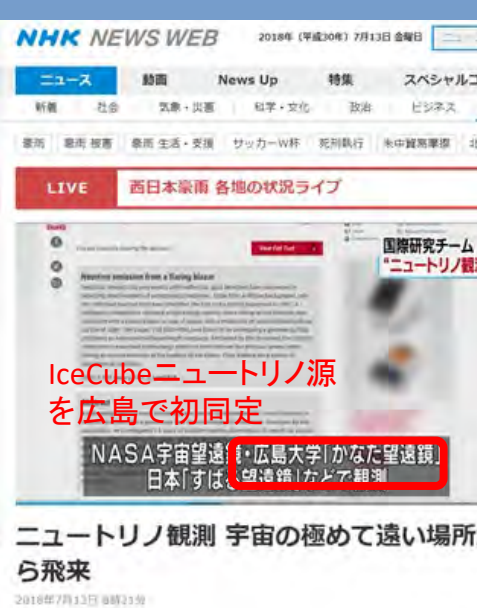
磁場は宇宙の高エネルギー突発現象においても重要な役割
(例: 活動銀河核やガンマ線バースト、恒星の大規模フレア現象)

近年のタイムドメイン(時間軸)天文学の急速な進展

- 2015年 重力波の直接検出 2017年 重力波対応天体の初同定
- 2017年 高エネルギーニュートリノ源の初同定(広島大が貢献)
- 2021年 感度が向上したスーパーカミオカンデのニュートリノ検出速報開始
- 2022年 重力波望遠鏡群の次のランが開始(日本のKAGRAも参加)

「偏光」が発光機構の特定に重要(例: 磁場の向きが判る)
→ 新天体が見つかったときは機動的にモニター観測を実施
→ 過去の静穏期の偏光との比較も貴重な情報に
「明るさ」だけでなく「偏光」のカタログ化も大きな意義

現状では、関連する大型計画において偏光(磁場)の事前情報を欠いたままとってしまう
→ カタログ化が早いほど成果に繋がる



何を明らかにするのか

銀河磁場の3次元詳細構造を初めて描出
磁場の起源・盛衰や、物質進化への役割を特定
Gaiaの距離カタログがまもなく完成する今こそ世界をリードするチャンス

高エネルギー宇宙突発現象の発生・放射機構を解明

他にも、様々な天文学分野への波及・新展開を促進
系外銀河: 活動銀河核の同定と時間変動、ニュートリノ源候補の事前把握および探索、超新星・ガンマ線バースト残光の逐次モニター
天の川銀河内: 恒星光球や星周物質の非球対称性の統計的性質、爆発・質量放出の非等方性、星間ダスト整列機構、ダスト粒径の(非)一様分布、星周~星間スケールのシームレスな磁場構造(星生成領域、分子雲における乱流と磁場生成)
太陽系天体: 始原天体(小惑星・彗星)の表面物質の特性、統計的把握
宇宙論: 宇宙マイクロ波背景放射Bモード偏光の補正

新世代の偏光カタログ(サンプル密度 2桁以上)を構築
北天: 可視光・近赤外3バンドで銀河面 南天: 可視光1バンドで全半球

SGMAP (Search for Galactic Magnetic-Field by All-sky Polarimetric survey) and Design of Its Optics

どのようにして実現するか

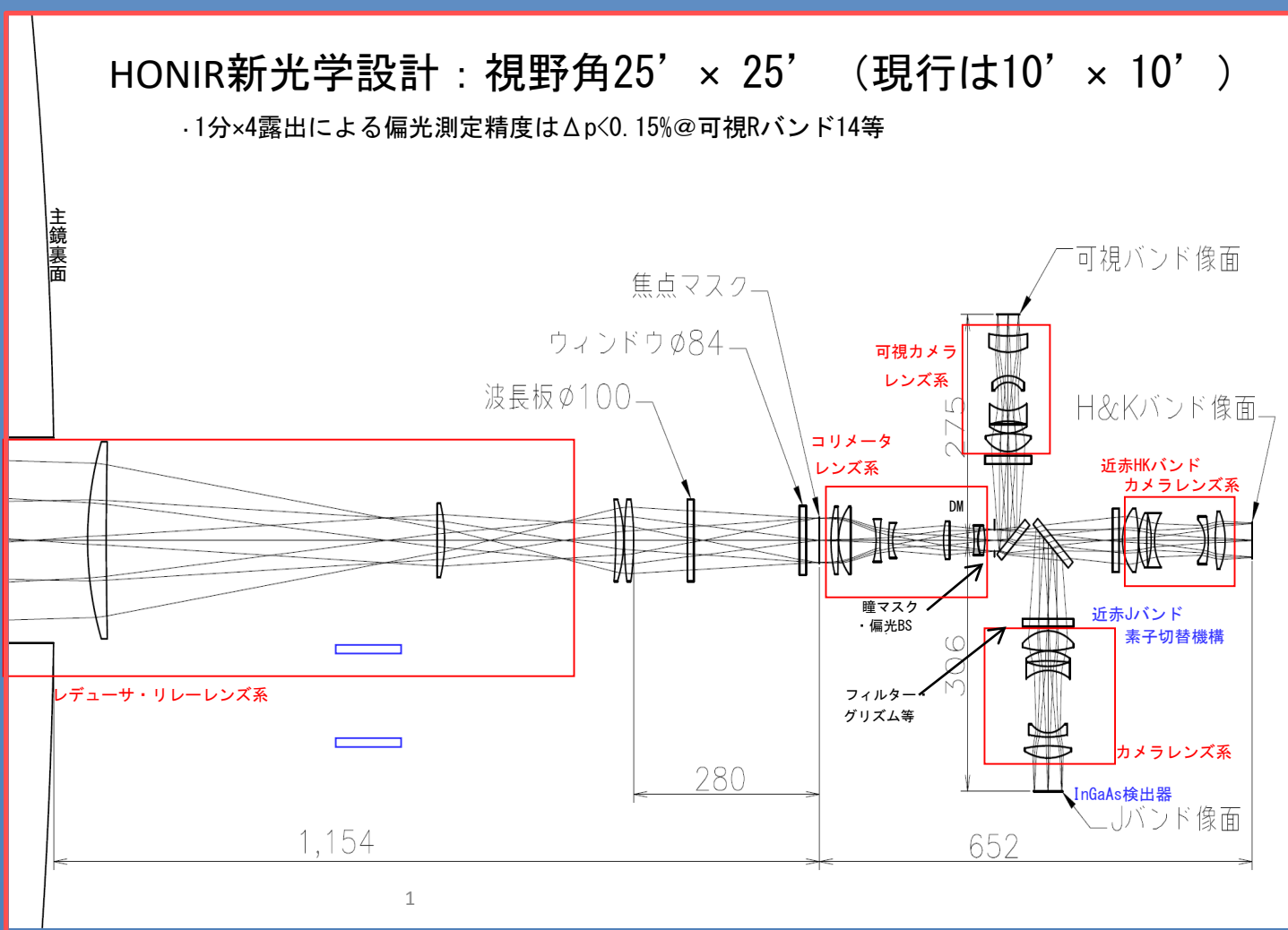
北天 広島大学 東広島天文台 口径1.5m「かなた」望遠鏡
可視光・赤外線同時観測装置HONIR(2014-)の改造



- 広視野化(視野面積が6.3倍に)
光学設計(基盤A 2018-2020で実施済み)に基づいた新レンズ系を導入。
他の光学素子は現状のままで良い。
これだけの視野を持つ可視・近赤外同時偏光観測装置は他に例がない。

- 観測チャンネル数の増加(2→3チャンネル)
国産の1280×1280ピクセル InGaAs近赤外検出器アレイ(基盤A 2018-2020で開発済み)の導入。
新チャンネルの光学素子や切替機構は現行の近赤チャンネルからの移行・コピーで良い。

(目下、予算申請中。獲得できた場合は以下の年次計画)
FY2022: 新レンズ系の設計の詰め・製作、リダクションパイプライン整備開始
FY2023: HONIR改造: 新レンズ系の実装、新チャンネルの実装、望遠鏡の改修
FY2024: 試験観測(最初の数カ月) → 本観測(2年間)



南天 SOUTH POL (PI: サンパウロ大 A. M. Magalhaes)
国際共同チーム(ブラジル・オランダ・日本)が構築済み
日本から大型CCDカメラをテリ(アタカマ高地)に持ち込み、
現地の協力を得ながら定常観測を実現

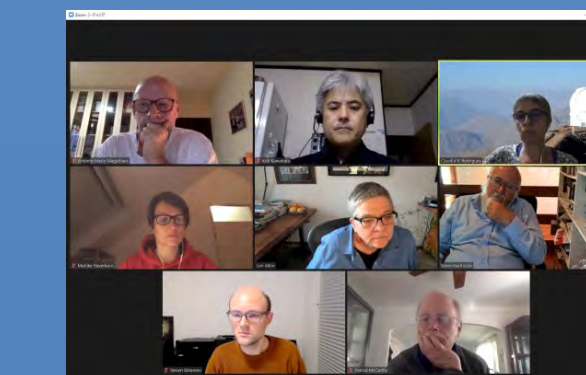
- ブラジル: 広視野偏光器(完成済み)、広視野望遠鏡(予算申請中)
- オランダ: ドーム建設(予算申請中)
- 日本: CCDカメラ
→ 観測終了後、もう1バンドの観測なし北天での活用の可能性

天の川銀河中心やマゼラン星雲(最近傍銀河)という恒星密度の高い領域を含む南天への日本からのアクセスは依然貧弱。突発天体の偏光観測を行う上でも本研究の意義は極めて大きい。

(目下、予算申請中。首尾よく獲得できた場合は以下の年次計画で)
FY2022: 大型CCDカメラの開発
FY2023: 新望遠鏡(ドーム)の建設、又は既存望遠鏡の改修
FY2024: 試験観測 → 本観測(0.5-2年間; 使用望遠鏡による)



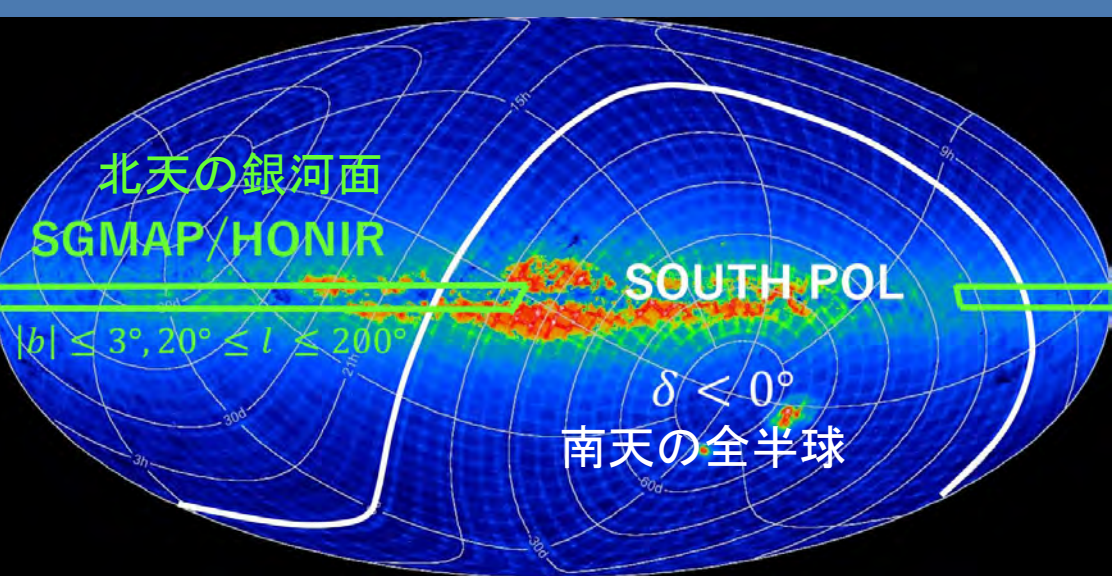
セロ・トロロ国際天文台(CTIO)のT80-SOポット望遠鏡に EZV 9k CCDカメラを借りて
実装し試験観測を行ったSOUTH POL



米国光学赤外線天文センター(NOIRLab)及びCTIO関係者との望遠鏡利用に関するZoom会議(2021/2/11)

サーベイ(掃天)観測の実施

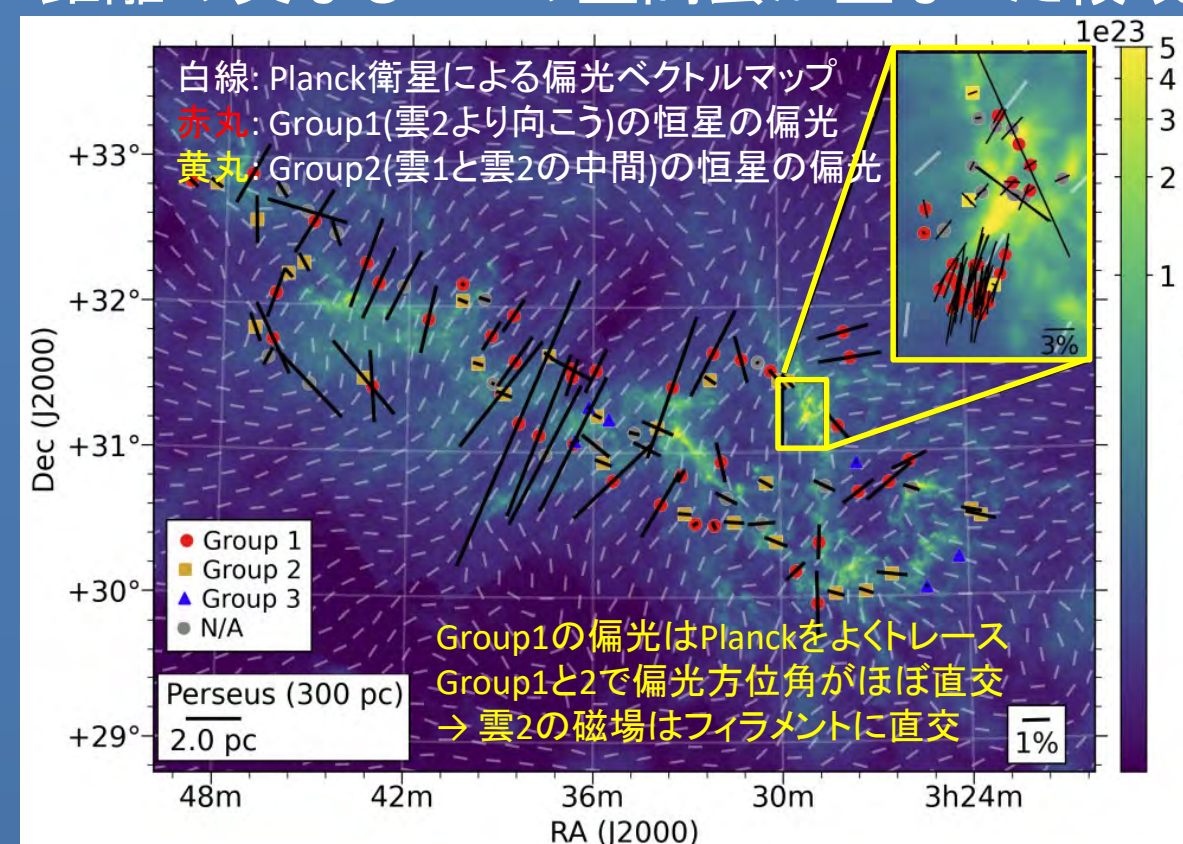
- 北天:** 可視近赤外3バンド 銀河面1080平方度+選択領域:
観測期間2年(FY2024-2026) (銀河面を見通し易い、個々の星の分離が容易)
- 南天:** 可視1バンド 南天半球~2万平方度: 観測期間0.5-2年(FY2024-)
(銀河中心やマゼラン星雲を含む)



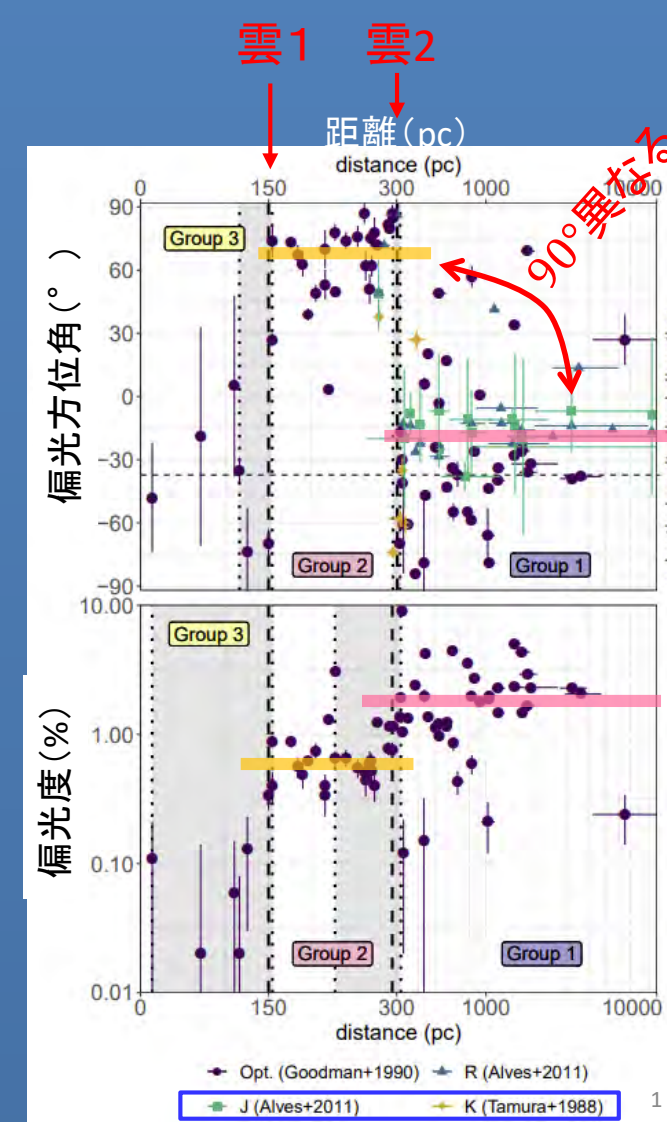
期待される成果:

- 北天の観測が主体となるもの:**
 - 近傍星形成領域・分子雲の磁場構造
 - 銀河外縁までの銀河磁場構造
 - 星間ダストの物性・整列機構
 - 突発天体関連
- 南天の観測が主体となるもの:**
 - 近傍暗黒雲・フェルミバブルの磁場構造
 - 銀河中心方向のダスト・磁場構造
 - 突発天体関連

距離の異なる2つの星間雲が重なった領域

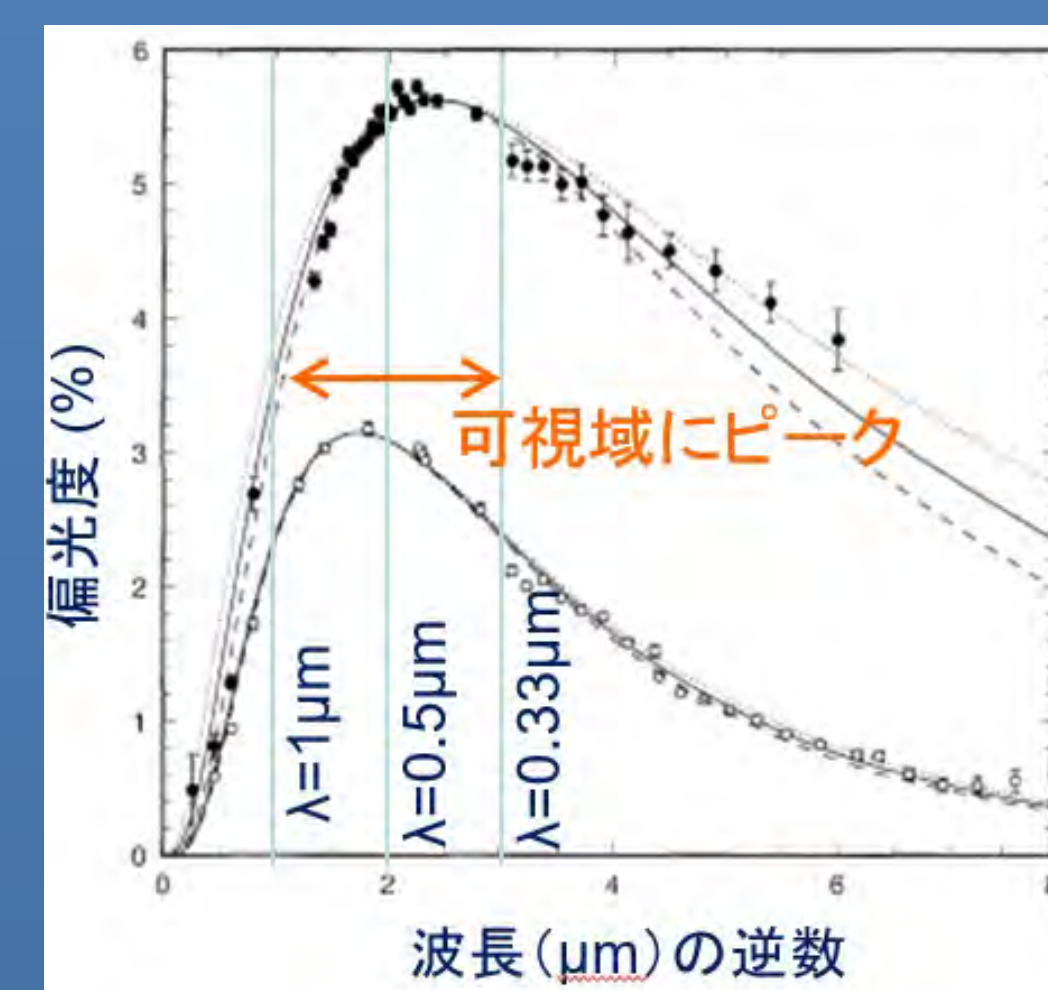


立体的に磁場や物質の分布を捉えることがいよいよ可能に
可視光より深くまで見通す近赤外バンド(J, K)が鍵となる (北天の3バンド観測が威力を発揮)



Doi, Hasegawa, Bastien, Matsumura et al. (ApJ, in press; arXiv:2104.11932)

星間偏光の波長依存性



ピーク波長はダストサイズに反比例

$$\lambda_{\max} \sim 2\pi a_{\text{eff}}(n-1)$$

ダストサイズ(円柱の場合半径)
ダストの光学屈折率(Whittet 2003)

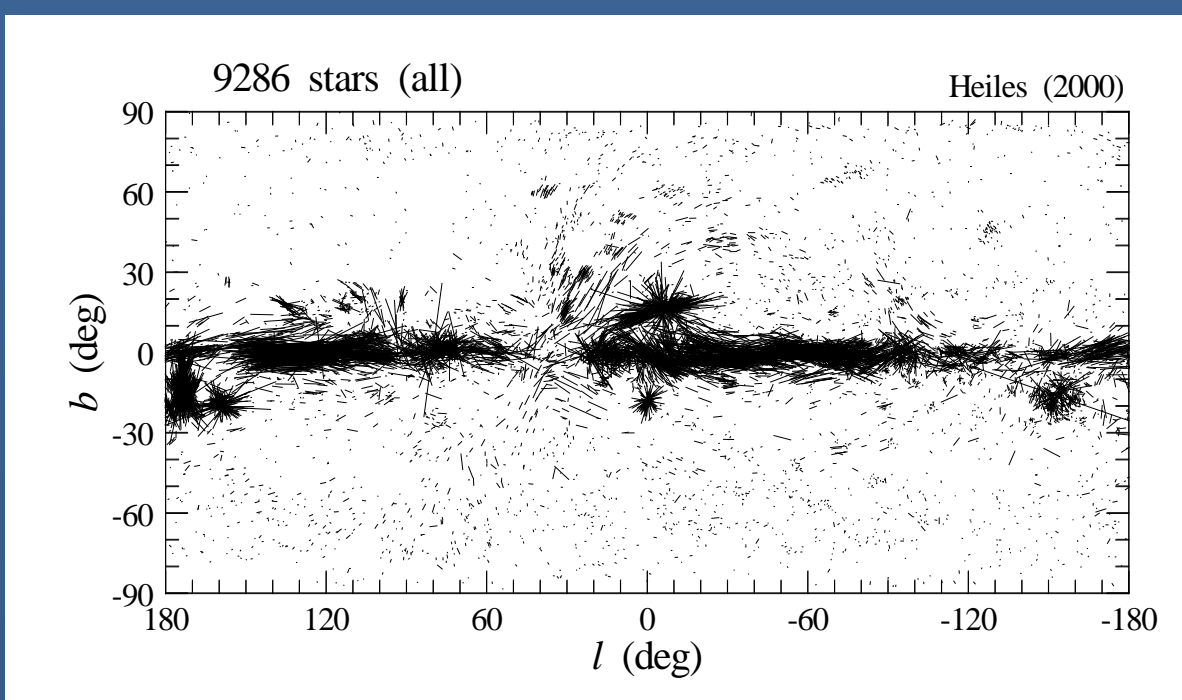
一方、星間減光(A_V mag)は波長にほぼ反比例(近赤外Ksバンドの減光は可視Vバンドより10等小さい~1万分の1)
近赤外線では銀河面(星間雲多し)を深くまで見通せる。
可視光・近赤外線双方の銀河面の観測で太陽近傍から銀河外縁部まで銀河磁場をトレース可能に。

競合プロジェクトの現状

既存の全天可視偏光サーベイカタログ

測定個数: 9286星 単バンド(Heiles 2000) 過去観測のコンパイル
個数では、全天の6等より明るい星(8600個)と同じ位しか無い!
→ 本研究により南天全半球と北天銀河面の14等より明るい星
数百万個を観測 サンプル密度が2けた以上向上

偏光ベクトルの全天マップ(棒の長さ5°が偏光度1%に対応)



- WALOP/PASIPHAE (PI: Readhead@Caltech)
2 Robopol + 1.3m(Skinakas, Greek) + 1.0m(SAAO)
可視1バンド One-shot型(器械偏光の不安定性が大きく偏光測定精度がやや悪い?)
星が込み合った領域の観測は向かない
→ 銀河面から離れた領域が対象(宇宙マイクロ波背景放射Bモード偏光とのコラボ)まもなく完了
- SOUTH POL (PI: Magalhaes@Sao Paulo) 本プロジェクトと協力、南天担当
- GPIPS (PI: Dan Clemens@Boston Univ)
1.8m(CTIO) + 10分角視野 1k1k InSb array
近赤Hバンドのみ、銀河面のみサーベイ(|銀緯 b| ≤ 1°) 現状~80平方度

複数バンド(偏光機構の特定には必須)のサーベイ、および星の込み合った銀河面を含む広域サーベイという観点において、本研究が他を凌駕



まとめ

- 宇宙磁場の起源・盛衰や天体進化、突発現象との関わりは未解明
- 東広島天文台の既存装置の広視野化・3チャンネル化による北天の銀河面を可視光・近赤外3バンドサーベイと、国際協力(日本から広視野カメラを持ち込み)による南天の全半球の可視光1バンドでサーベイを実施
- 銀河磁場の3次元構造を初めて描出、銀河内との局所構造と関わりから磁場や銀河構造進化、新発見天体の爆発・放射機構を解明へ
- 現在、予算申請中も、東広島天文台HONIRの改造は確保済み予算で少しずつ進めている段階。