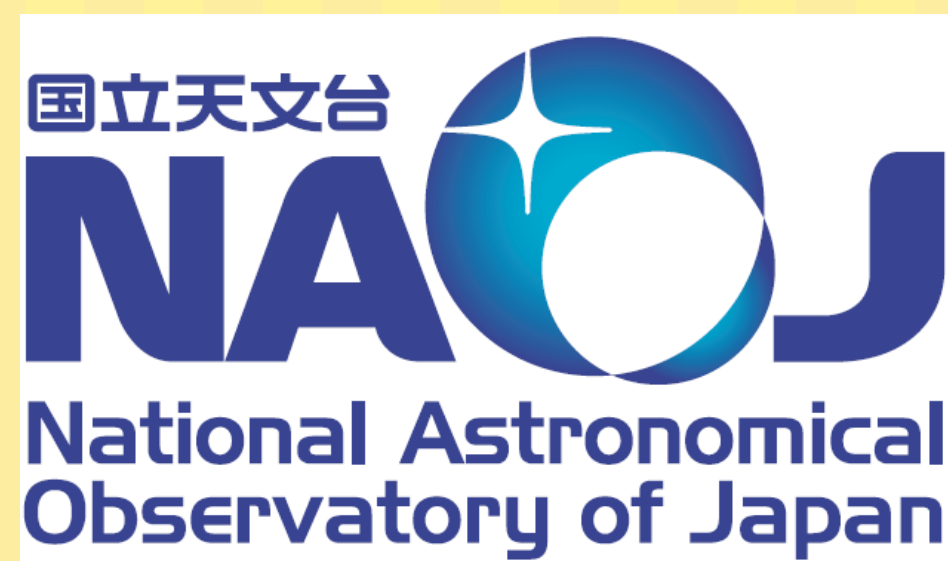


主要な T Tauri 型星方向の 前方星間偏光の推定



秋田谷 洋 (あきたや ひろし; 国立天文台・E L Tプロジェクト室)
磯貝瑞希 (国立天文台)、岡崎彰 (群馬大)、松村雅文 (香川大)、
川端弘治 (広島大)、関宗蔵 (東北大)、椎名理恵、亀浦陽子

1. 本研究の目的

『主要なT Tauri 型星方向の前方星間偏光を、年周視差測定のあるfield星の星間偏光から推定する。』

研究の背景

- 高分散偏光分光観測の発展により、輝線の偏光スペクトルを用いてT Tauri型星直近の星周構造、質量降着・放出の機構を明らかにする試みが始まり、成果が得られている (Vink+03, 05, Akitaya+09; 図1)。
- 天体固有の偏光度・偏光方位角を得て、定量的な星周構造の議論を行うには、前方星間偏光(磁場によって整列した塵粒子のdichroismに起因)の正しい推定・差し引きが必須(図2)。
- 前方星間偏光は、既存の偏光カタログ(Heiles+00など)に基づく周囲の星間偏光情報から推定されることが多い。しかし、目的天体に近く十分な数の天体数が得られることが稀であり、高い信頼性が得られない。

研究の目的

- 明るく代表的な近傍のT Tauri型星5天体(RY Tau, T Tau, RW Aur, SU Aur, GW Ori) (古くからよく観測されており、今後も高分散偏光分光観測などで主要な観測対象となりうる天体)の前方星間偏光について、信頼性の高い推定値を得て、今後の偏光観測研究に適用したい。
- そこで、次の手法にて前方星間偏光の推定を行うこととした。
 - 次の2点に着目して目的天体周囲のfield星を選定。
 - 目的天体からの離角が十分小さい。
 - 実距離が明確である(Hipparcos衛星による年周視差測定あり)。
 - 各field星の可視偏光スペクトルを測定 (=様々な波長の輝線偏光への適用を想定。星間偏光の波長依存性も重視)。
 - 目的天体周囲の狭い視野について、奥行き方向の分布が明確・空間的に密な星間偏光の立体分布を明らかにする。そして、同じく実距離が明確な目的天体方向の前方星間偏光について、信頼性の高い推定値を得る(図3)。
- この手法では、field星の分布より細かな星間偏光分布は得られないため、T Tauri型星ごく直近に局在する前方星間偏光成分については、別途考慮する必要がある。しかし、大域的な星間偏光分布を明らかにする上では、従来よりも飛躍的に信頼性の高い手法である。

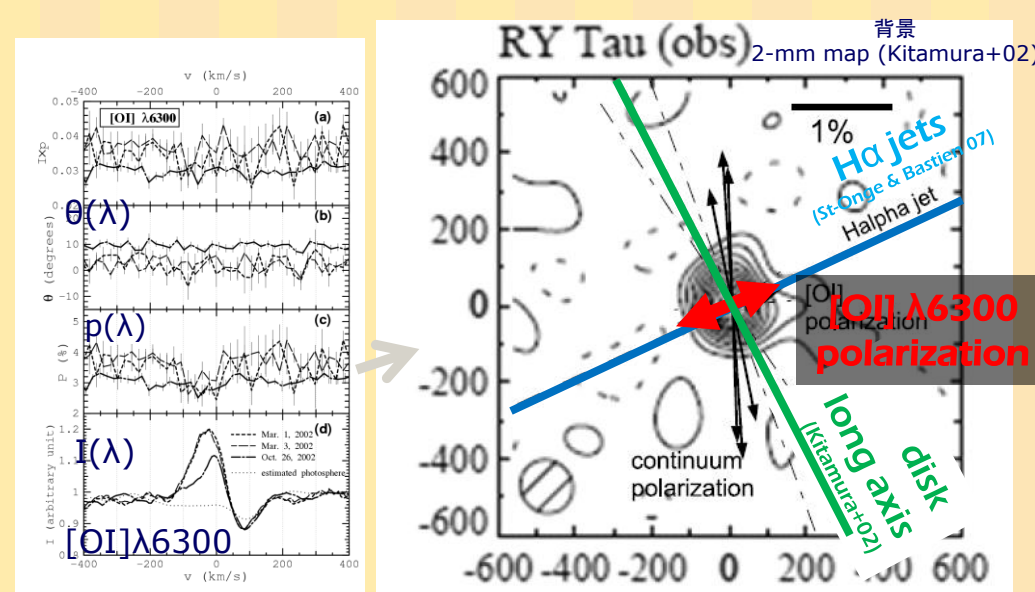
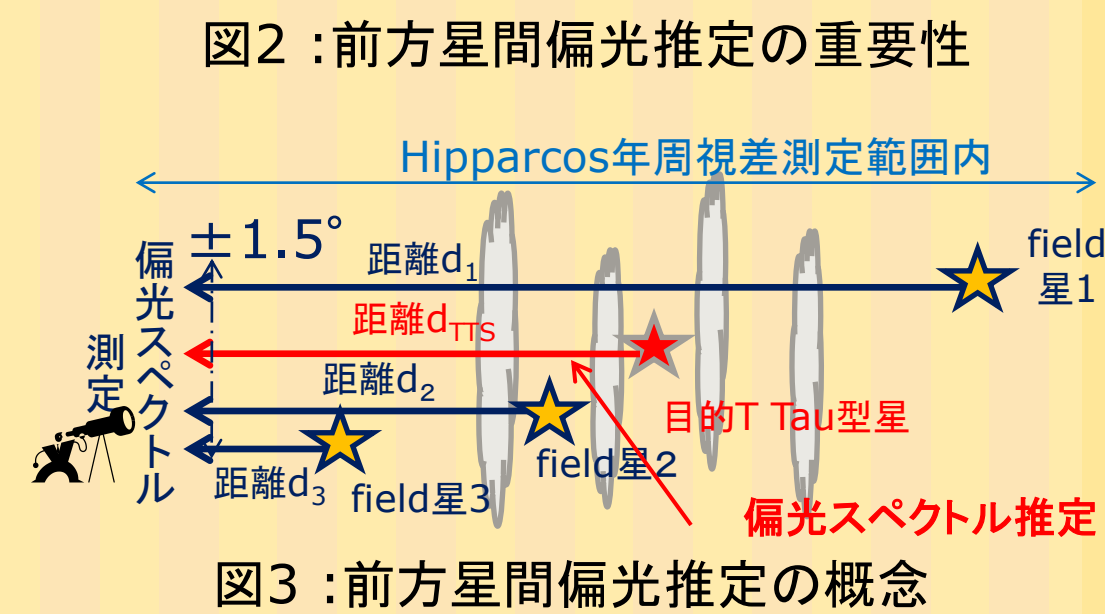
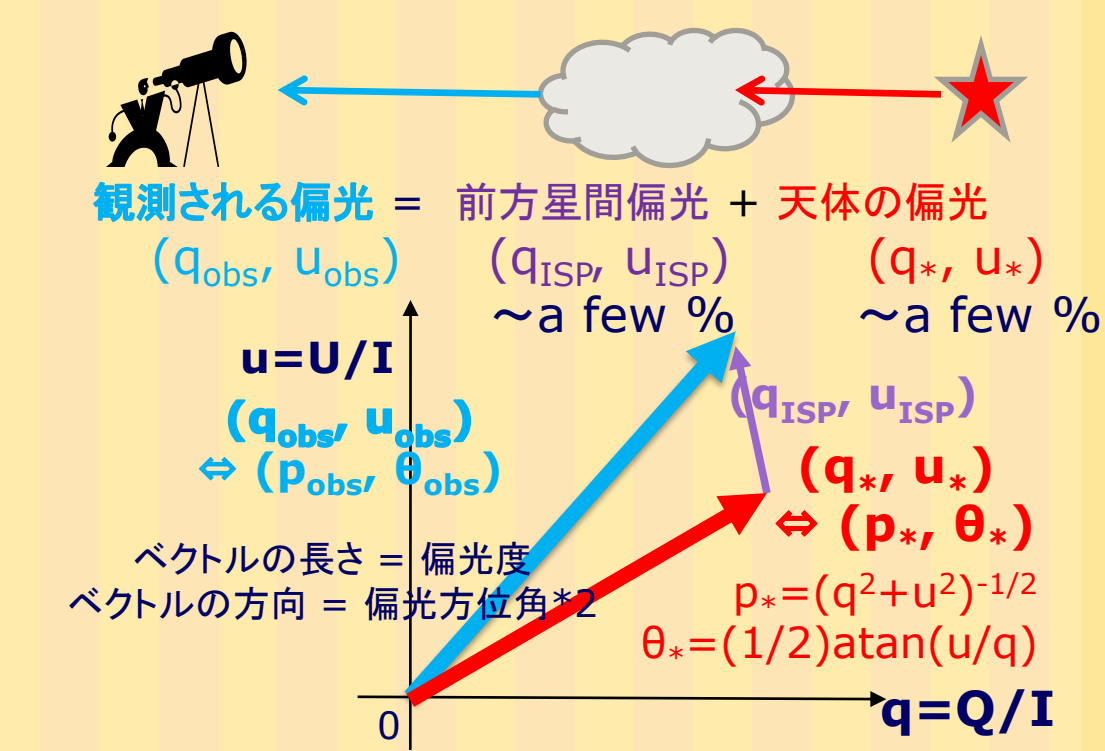


図1: T Tauri型星RY Tau[OI]輝線偏光測定例。前方星間偏光推定後、[OI]固有偏光を導出。偏光を星周構造と比較し、ジェット構造について議論。(Akitaya+09)



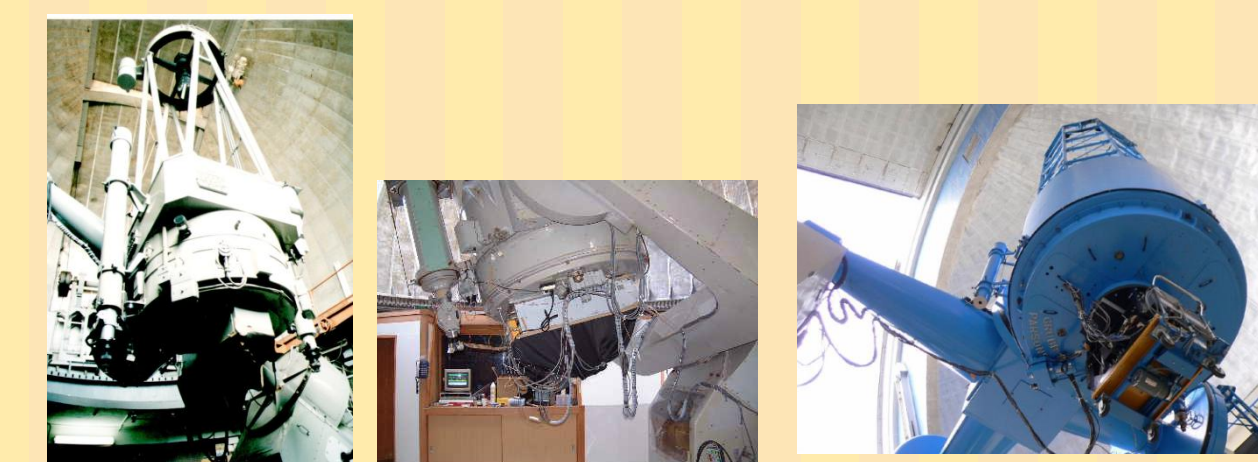
2. 観測

観測対象

- T Tauri型星5天体(RY Tau, T Tau, RW Aur, SU Aur, GW Ori)周囲のfield星を次の基準で選定。
 - 離角約1.5deg以内。
 - Hipparcos衛星による年周視差測定があるもの。
 - 計65天体(各T Tauri型星ごとに10-15天体; V ~ 5 - 11 mag)
- 可視波長域全体(3600-9000 Å)の直線偏光スペクトルを測定。

観測諸元

- 低分散偏光分光装置 HBS (Kawabata+99)
- 観測波長域: 3600-9000 Å
- 波長分解能: 60~100 Å
- 望遠鏡:
 - 国立天文台堂平観測所91cm鏡/岡山天体物理観測所91cm鏡(1999-2001年)
 - 岡山天体物理観測所188cm鏡(2007年11-12月)
- 偏光測定精度: $\Delta p < 0.1\%/100 \text{ \AA}$ (for 4000-9000 Å)
- 積分時間: 8~75 min / object



3. 解析

星間偏光の直線偏光度スペクトル $p(\lambda)$ は、経験的に Serkowski曲線 (Serkowski+75, Whittet+92)

$$p(\lambda) = p_{\max} \exp \left[-K \ln^2 \left(\frac{\lambda_{\max}}{\lambda} \right) \right]$$
$$K = (0.01 \pm 0.05) + (1.66 \pm 0.09) \lambda_{\max}$$

p_{\max} (%): 最大偏光度; λ_{\max} (Å): p_{\max} をとる波長で近似できる。
また、偏光方位角スペクトル $\theta(\lambda)$ は、一次関数

$$\theta(\lambda) = \theta' \cdot (\lambda - 5500 \text{ \AA}) + \theta_{5500}$$

θ_{5500} (deg): 5500Åにおける偏光方位角;
 θ' (deg/Å): 偏光方位角の波長依存性

で近似できる。

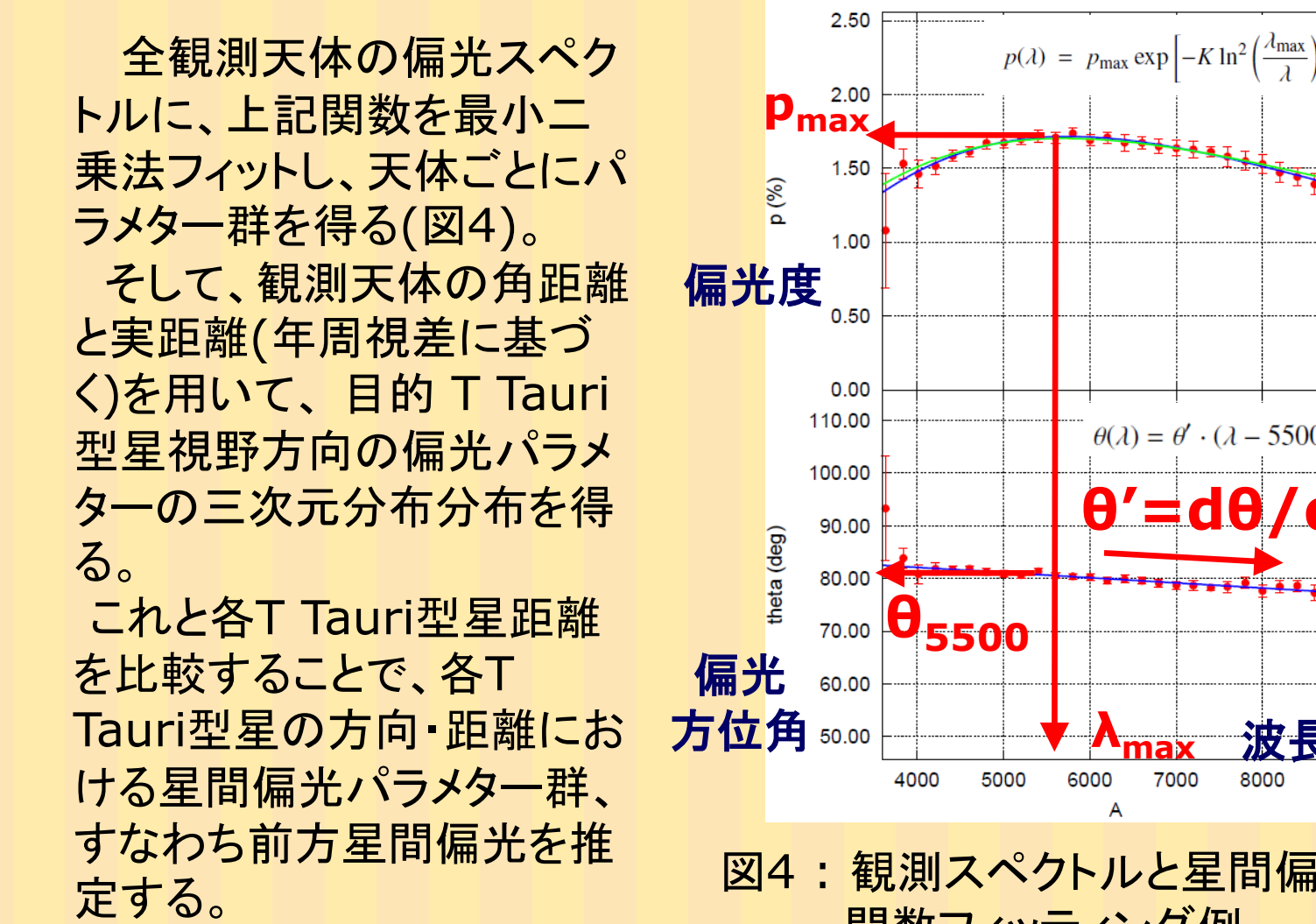


図4: 観測スペクトルと星間偏光関数フィッティング例

4. 結果と議論

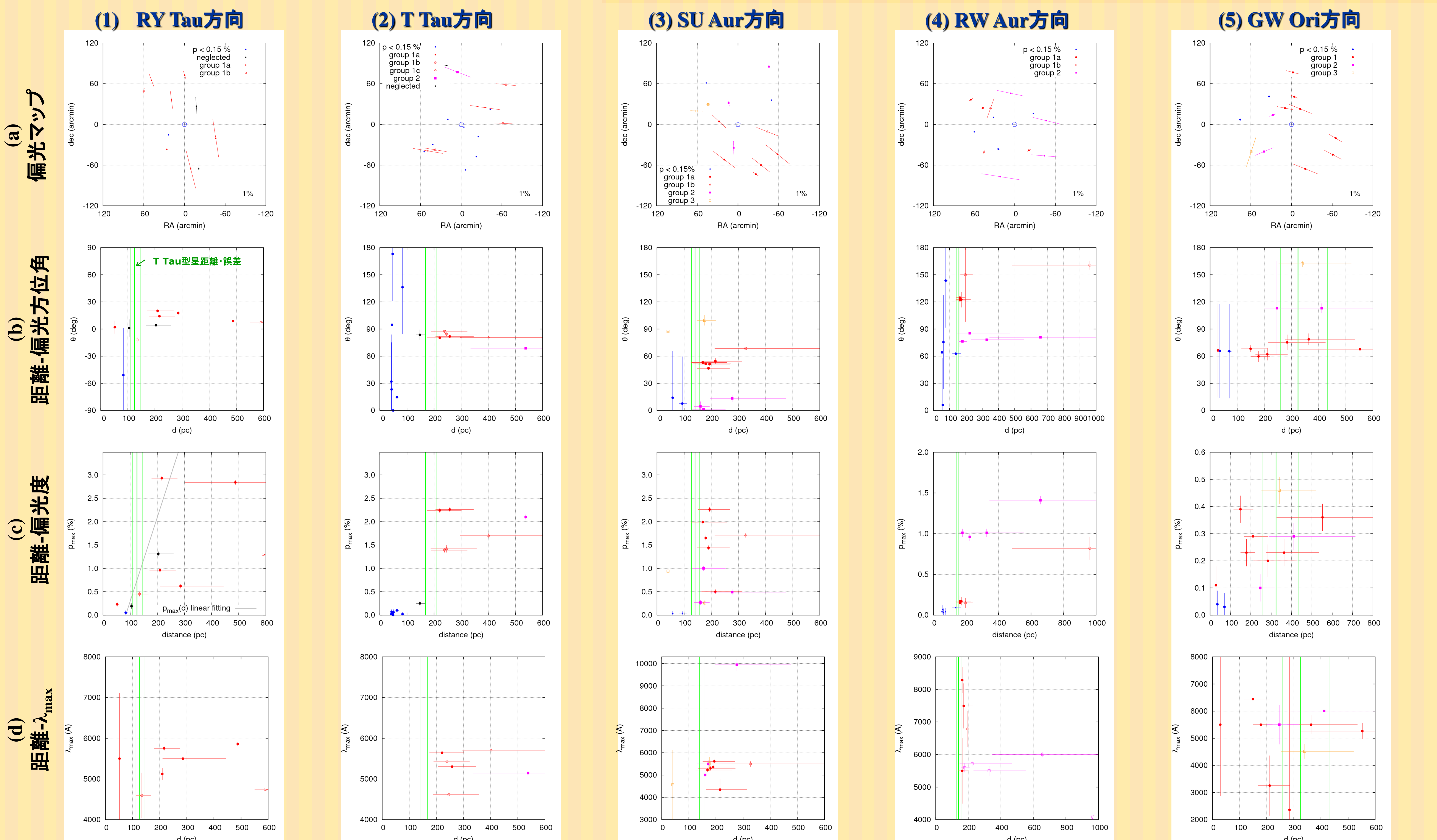
- 各 T Tauri 型星方向について、field星の (a) 偏光マップ (p_{\max} および θ_{5500})、(b) 距離-偏光方位角 (θ_{5500}) 関係、(c) 距離-偏光度 (p_{\max}) 関係、(d) 距離- λ_{\max} 関係を示す。
- 近い偏光方位角をもつ天体ごとにグループ分け(1,2,...)を実施。さらに角距離や実距離に応じてサブグループ(a,b,...)への分類も実施。
- 偏光度が小さく ($< 0.15\%$)、偏光方位角の測定信頼性が低い天体は、青点で示した。
- 観測は行ったものの、特殊な天体であることが明らかで固有偏光の存在が疑われる天体は、黒点で示した。以後の議論では無視する。
- Vバンド偏光度 p_V / 偏光度誤差 $\sigma_{p_V} < 3$ の天体については、 p_{\max} の代わりにVバンド偏光度 p_V を用いた。
- λ_{\max} は、 $p_V > 0.15\%$ の天体のみについて示した。
- 各 field星の距離はHipparcos年周視差による。
- 各 T Tauri 型星距離は、対象星が所属する星集団のHipparcos年周視差を統計的に扱って導出したもの (Bertout +99) を採用。

5. まとめと今後の展開

- 主要な明るい T Tauri 型星5天体(RY Tau, T Tau, SU Aur, GW Ori, RW Aur)の前方星間偏光を推定した。
 - 偏光方位角: 比較的視野内でよく揃っており、信頼性の高い推定値を得た。
 - 偏光度: RY Tau については比較的限定された推定値を得た。他の天体については、視野内、奥行き方向それぞれの偏光度分布のばらつきが大きい。前方偏光の上限値または、範囲制限を得た。
- 空間的に密で、かつ、Hipparcos衛星の年周視差測定に基づく、実距離を考慮した偏光データを取得し、前方星間偏光を推定した。これにより、field星の星間偏光を用いる手法としては、従来手法よりも信頼性が高く、現在可能な範囲で最良の推定値を得た。
- 今後は、この推定値を、各 T Tauri 型星の輝線直線偏光スペクトル(RW Aur以外の4天体について、エシェール偏光分光装置LIPS(Ikeda+03)により観測済み)に適用し、輝線偏光をもとにした、星周構造の定量的な議論に発展させる。

references

- Akitaya et al. 2009, A&A, 499, 163
- Bertout et al. 1999, A&A, 352, 574
- Heiles 2000, AJ, 119, 923
- Ikeda et al. 2003, Proc. SPIE, 4843, 437
- Kawabata et al. 1999, PASP, 111, 898
- Serkowski et al. 1975, ApJ, 196, 261
- Vink et al. 2003, A&A, 406, 703
- Vink et al. 2005, MNRAS, 359, 1049
- Whittet et al. 1992, ApJ, 386, 562



RY Tau 距離: 125^{+21}_{-16} pc (L1495領域)
偏光方位角: 天体周囲のgroup(grp.) 1aで $0-20^\circ$ 。よく揃っている。
 $\theta_{5500} = 12 \pm 7^\circ$ (grp. 1aより)
偏光度: 0-80 pcの範囲で $\sim 0\%$ 。その後天体位置をはさんで上昇。距離-偏光度に、一次関数 $p_{\max} = a \times (d-d_0)$ を仮定。80-220 pc範囲でフィッティング。これに、天体距離を適用。
 $p_{\max} = 0.74 \pm 0.51 - 0.45\%$
 λ_{\max} : ほぼ、星間の標準値 5500 Å 周辺に分布。
 $\lambda_{\max} = 5500 \text{ \AA}$
 θ' : ほとんどの天体で偏光方位角の波長依存性 $\theta' \sim 0$ であった。よって、全 T Tauri 型星方向で $\theta' = 0$ と見なす。

T Tau 距離: 168^{+42}_{-28} pc (South Taurus領域)
偏光方位角: 天体周囲、grp. 1a,b,cで $80-90^\circ$ 、よく揃っている。
 $\theta_{5500} = 83 \pm 3^\circ$ (grp. 1aより)
偏光度: 0-80 pcの範囲で $\sim 0\%$ 。その後天体位置をはさんで上昇。天体のすぐ背景のgrp. 1a, 1bのうち、視野内の天体方向は、grp. 1aの2天体に挟まれている。grp. 1aを上限値として採用。
 $p_{\max} < 2.25 \pm 0.04\%$ (上限値)
 λ_{\max} : 星間偏光標準値 5500 Å 周辺に分布。
 $\lambda_{\max} = 5500 \text{ \AA}$

SU Aur 距離: 140^{+16}_{-13} pc (Auriga領域)
偏光方位角: 天体方向はgrp. 2が尤もらしい。grp. 1aの影響もあるかもしれない。
 $\theta_{5500} = 6 \pm 6^\circ$ (grp. 2より; 第1推定値、 $51 \pm 3^\circ$ (grp. 1aより; 第2推定値)、もしくはその中間)
偏光度: 天体前景(< 100 pc)で $\sim 0\%$ 。天体背景(150-220pc)で、大きくばらつく。星間偏光の空間変化が激しい領域とみられる。範囲で制限する。
 $p_{\max} = 0.3-1.0\%$ (第1推定値; grp. 2より)、 $0.5-2.3\%$ (第2推定値; grp. 1aより)、もしくはその中間
 λ_{\max} : 星間偏光標準値 5500 Å 周辺に分布。
 $\lambda_{\max} = 5500 \text{ \AA}$

RW Aur 距離: 140^{+16}_{-13} pc (Auriga領域)
偏光方位角: 天体方向はgrp. 1aが尤もらしい。しかし、その外側 grp. 2の影響もあるかもしれない。
 $\theta_{5500} = 123 \pm 1^\circ$ (grp. 1aより; 第1推定値)、 $80 \pm 4^\circ$ (第2推定値)、もしくはその中間
偏光度: 天体前景(< 100 pc)で $\sim 0\%$ 。天体背景(150-220pc)で、 $\sim 0.16\%$ (group 1a)、 $\sim 1.14\%$ (group 2)。
 $p_{\max} < 0.16 \pm 0.03\%$ (第1推定値); 上限値; group 1aより)、 $< 1.14 \pm 0.23\%$ (第2推定値; 上限値; group 2より)、もしくはその中間
 λ_{\max} : grp. 1は5500-8500 Åに幅広く分布
 $\lambda_{\max} = 5500-8500 \text{ \AA}$

GW Ori 距離: 324^{+109}_{-65} pc (λ Ori領域)
偏光方位角: 天体方向はgrp. 1からgrp. 2に遷移。
 $\theta_{5500} = 68 \pm 7^\circ$ (grp. 1より) ~ $113 \pm 0^\circ$ (grp. 3より)の範囲
偏光度: 天体前景(< 100 pc)で $< 0.1\%$ 。天体前後、0.1-0.4%で広く分布。天体前後の明確な増加傾向は判別できない。grp. 1, 2のうち、100-600 pcの範囲の天体の平均値、標準偏差を推定値とする。
 $p_{\max} = 0.26 \pm 0.09\%$
 λ_{\max} : ほぼ、星間の標準値 5500 Å 周辺に分布。
 $\lambda_{\max} = 5500 \text{ \AA}$

議論・前方星間偏光パラメータ推定値