

輻射トルクによる塵粒子の  
整列機構の検証：  
星間偏光とダスト温度との相関

松村雅文(香川大学教育学部)

- 本報告の内容は、PASJ Letter, vol. 63, No.5, pp.43-47 (2011年)に掲載されました。
  - 共著者： 松村雅文(香川大学)、亀浦陽子(熊本市立飽田中学校 及び 熊本市立力合中学校)、川端弘治、秋田谷 洋(広島大学)、磯貝瑞希(京都産業大学)、関宗蔵(東北大学)
- 日本天文学会2011年秋季年会@鹿児島 でも、
- 研究会「次世代の多波長偏光サイエンスの開拓」@三鷹(2011年9月) でも 報告しました。
- 本研究は、国立天文台岡山天体物理観測所「学位論文支援プログラム」(P.I.: 亀浦陽子、No. 08A-S01, 2008 年前期・後期、2009年前期)の支援を受けました。

# はじめに： 星間偏光と整列機構

- 星間塵の整列：

- 遠方の恒星の光には、直線偏光成分（星間偏光または2色性減光）
- → 星間塵： 光学的に非等方 + 整列している

- “定説”？の整列機構：

- 常磁性緩和による整列 (Davis & Greenstein, 1951)
- 常磁性緩和による整列の効率は悪い。
  - DG機構で必要になる磁場の強さ：  
 $10^{-5}$  gauss >  $10^{-6}$  gauss (他の観測)
- “60年に渡る問題”とされている。

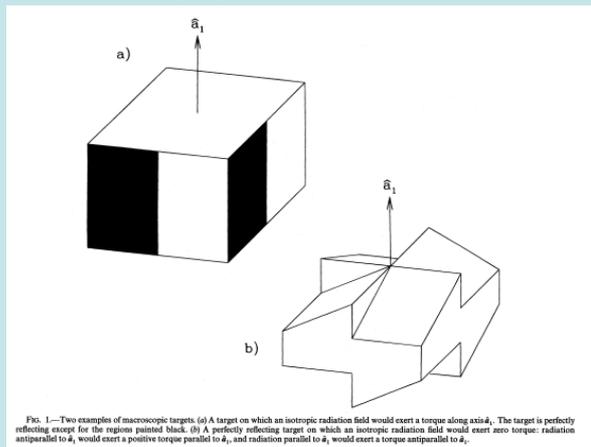
# 別の整列機構：輻射トルクによる整列

## • 輻射トルクによる整列の可能性

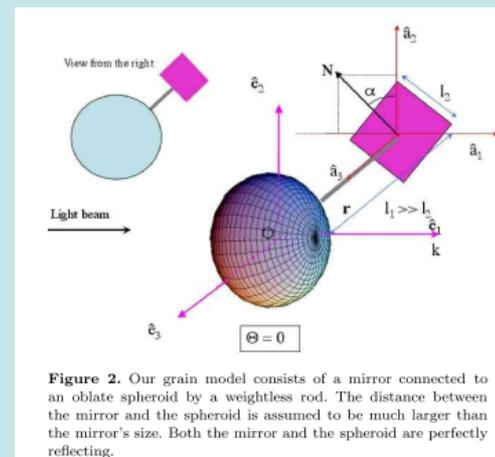
- Dolganov & Mitrofanov, 1976; Draine & Weingartner 1996; Lazarian & Hoang 2007など。

## • 塵粒子の形状に、“ねじれ”

- → 輻射の散乱・吸収でトルク → 角運動量
- → Barnett効果により、磁気モーメントが生じる
- → 星間磁場について、Larmor歳差運動をする
- → 磁場の方向 と 角運動量ベクトル → 平行



Draine & Weingartner(1996)



Lazarian & Hoang(2007)

# 観測的な証拠

- 暗黒雲や星形成領域：
  - 減光量 $A_V$ が大(輻射場が弱い)
    - 偏光が最大になる波長 $\lambda_{\max}$ は大きくなる  
(Whittet et al.2001; Andersson & Potter 2007)  
... 輻射トルク説による予測とあう。
- 今回の研究：
  - 輻射トルクによる整列が、より一般的か？
  - → 色々な環境下での整列を調べる必要。
  - ここでは、プレアデス星団の星々の偏光を観測。

# 観測

- 岡山天体物理観測所188cm望遠鏡 & 偏光分光測光装置
  - HBS, Kawabata et al. 1999
- 観測期間：
  - 2008年1月、同10～11月、2009年1月。
- 観測精度：
  - 無偏光標準星の観測
  - 偏光度で、0.04～0.07%程度

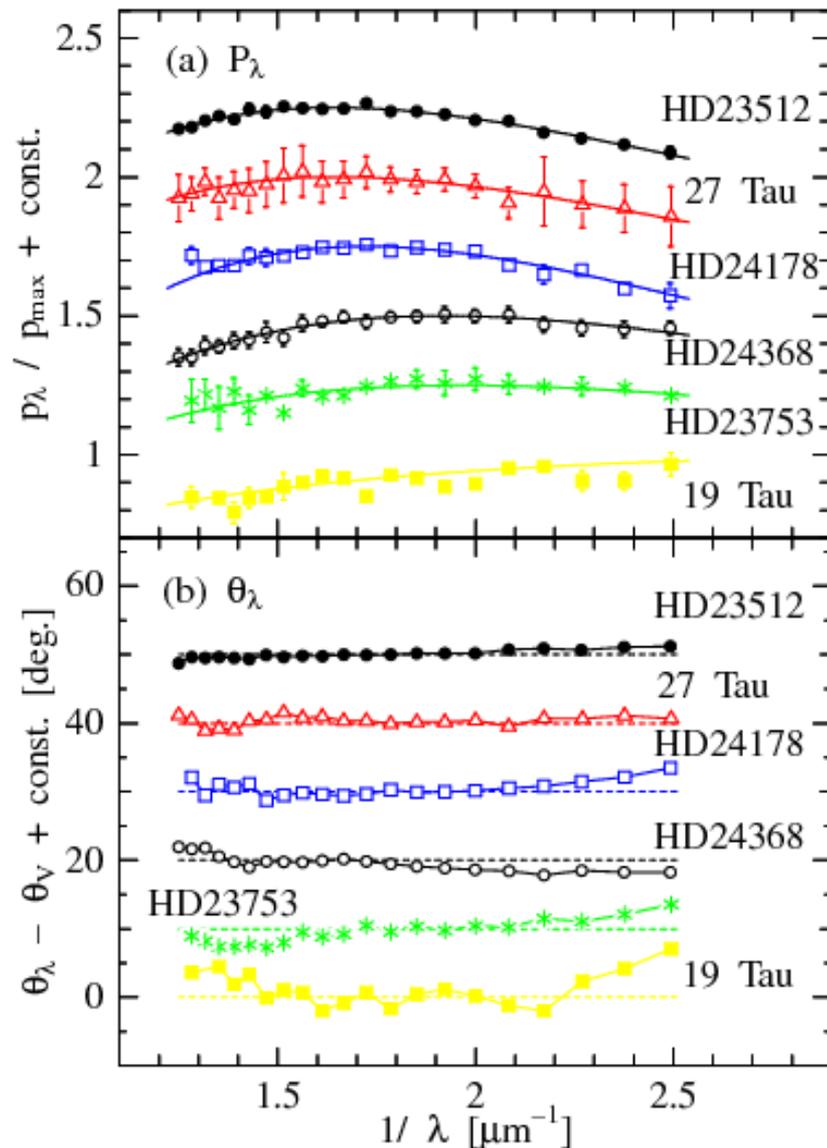


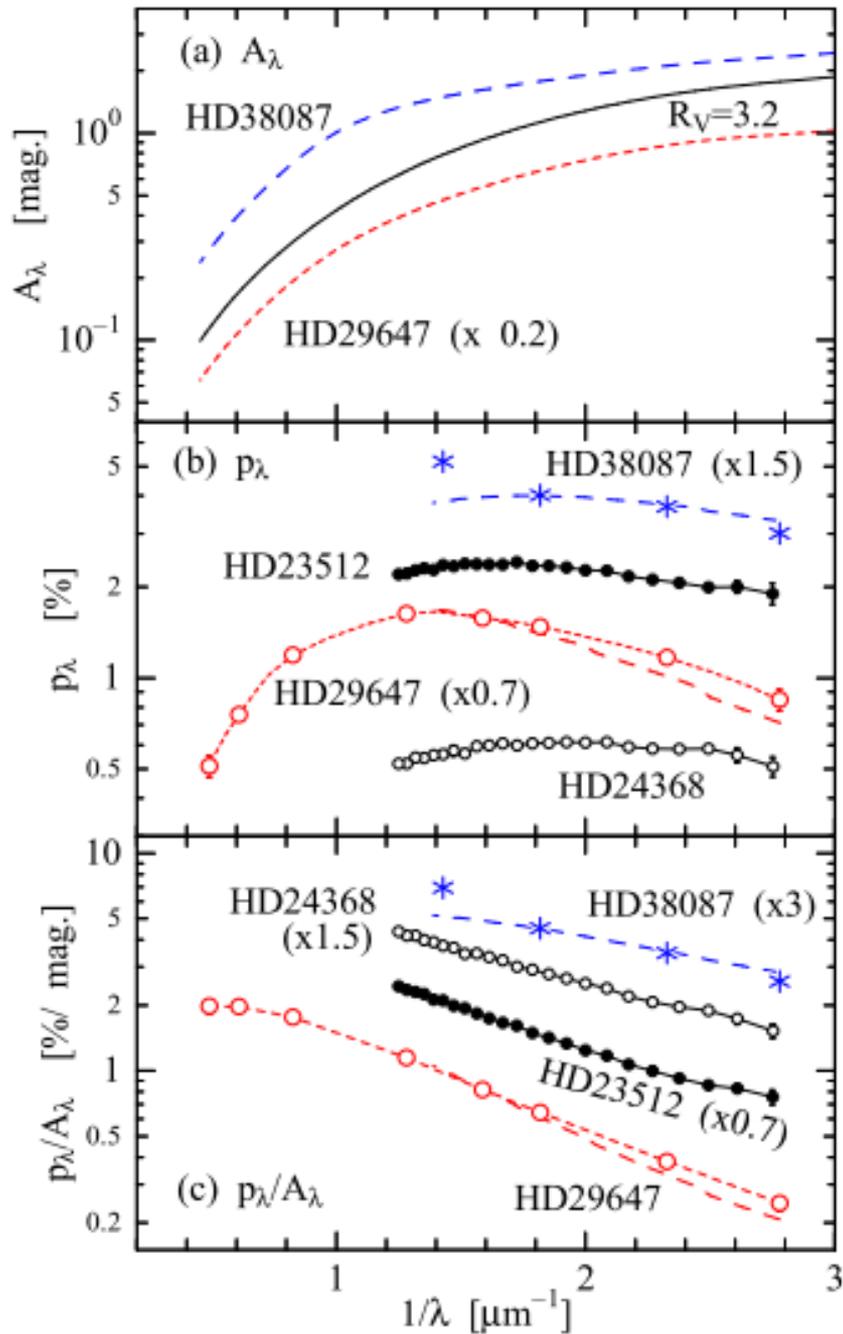
# 偏光度 $p_\lambda$ と位置角 $\theta_\lambda$ の観測結果

- $P_{\max}$ と $\theta_V$ を用いて、縦軸のスケールは変えてある。

	$P_{\max}$ [%]	$\theta_V$ [deg.]
19 Tau	0.28	140±4
27 Tau	0.35	113±3
HD23512	2.38	27.2±0.5
HD23753	0.27	105±4
HD24178	0.50	128±2
HD24368	0.61	95±2

#  $P_{\max}$  の誤差は、 $\sim 0.05\%$ 。





## 減光 $A_\lambda$

$A_V$ と $R_V$ で表現可能

但し、 $R_V = A_V / (A_B - A_V)$

(V:  $\lambda=0.55\mu\text{m}$ , B:  $0.44\mu\text{m}$ )

## 偏光 $p_\lambda$

## 偏光効率 $p_\lambda / A_\lambda$

# 従来は、 $p_V / A_V$  のみ  
議論されていた。

(Vバンド:  $\lambda=0.55\mu\text{m}$ )

# 偏光効率 $P_\lambda/A_\lambda$ の波長依存

- 経験的に、

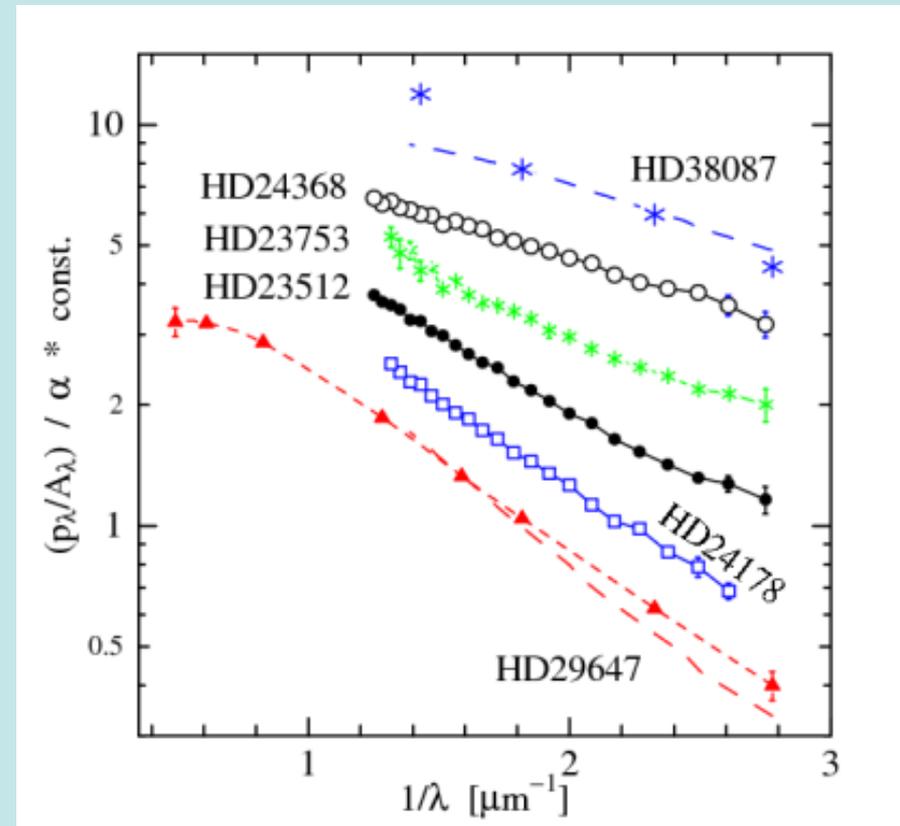
$$P_\lambda/A_\lambda \sim \exp(-\beta/\lambda)$$

(但し  $\lambda = 0.4 \sim 0.8 \mu\text{m}$ )

- $\beta$ : パラメータ

$\beta$  が大 (傾きが大) ...

短波長で偏光効率が悪い。

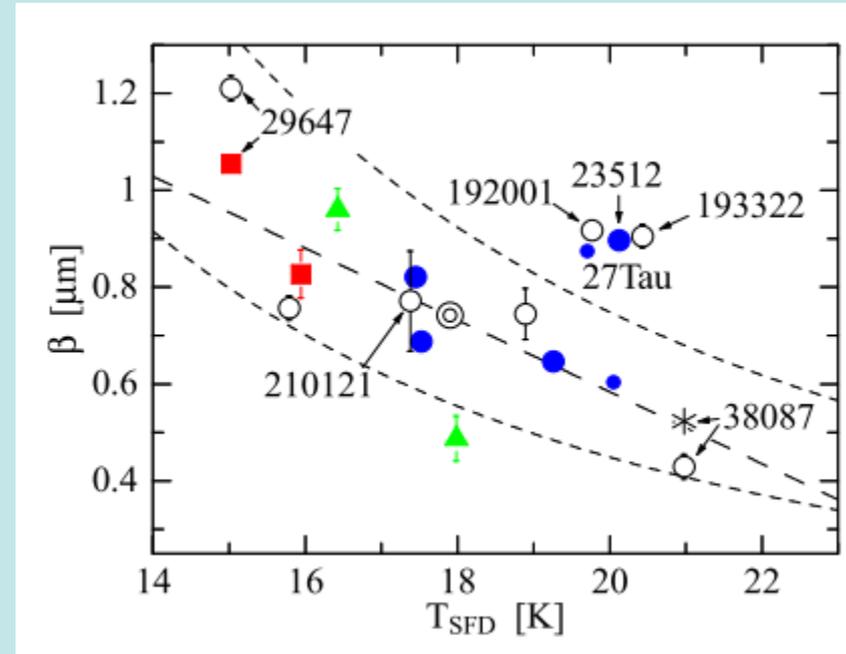


# 輻射トルク説の予測

- 輻射トルクの効率: 小さな粒子ほど、悪い
  - 小さい粒子の整列の程度は低い。
  - 輻射場の強度が小さくなる
    - 小さい塵の整列の効率: より悪くなる
    - 短波長での偏光効率: 悪くなる
      - … >  $\beta$ は ( $\lambda_{\max}$ も) 大きくなる
- 一方、輻射場の強度が小さくなると、塵粒子の温度  $T_{\text{dust}}$  は低くなるはずである。
- このため、 $T_{\text{dust}}$  と  $\beta$  に、負の相関が期待される。

# $T_{\text{dust}}$ と $\beta$ の相関 (1)

- Schlegel et al. (1998) の  $T_{\text{dust}}$
- 減光の波長依存は、Fitzpatrick & Massa (2007) など。
- 良い負の相関が見られたので、喜んで論文を書いた。
- → レフェリーから、減光の扱いについてコメント。

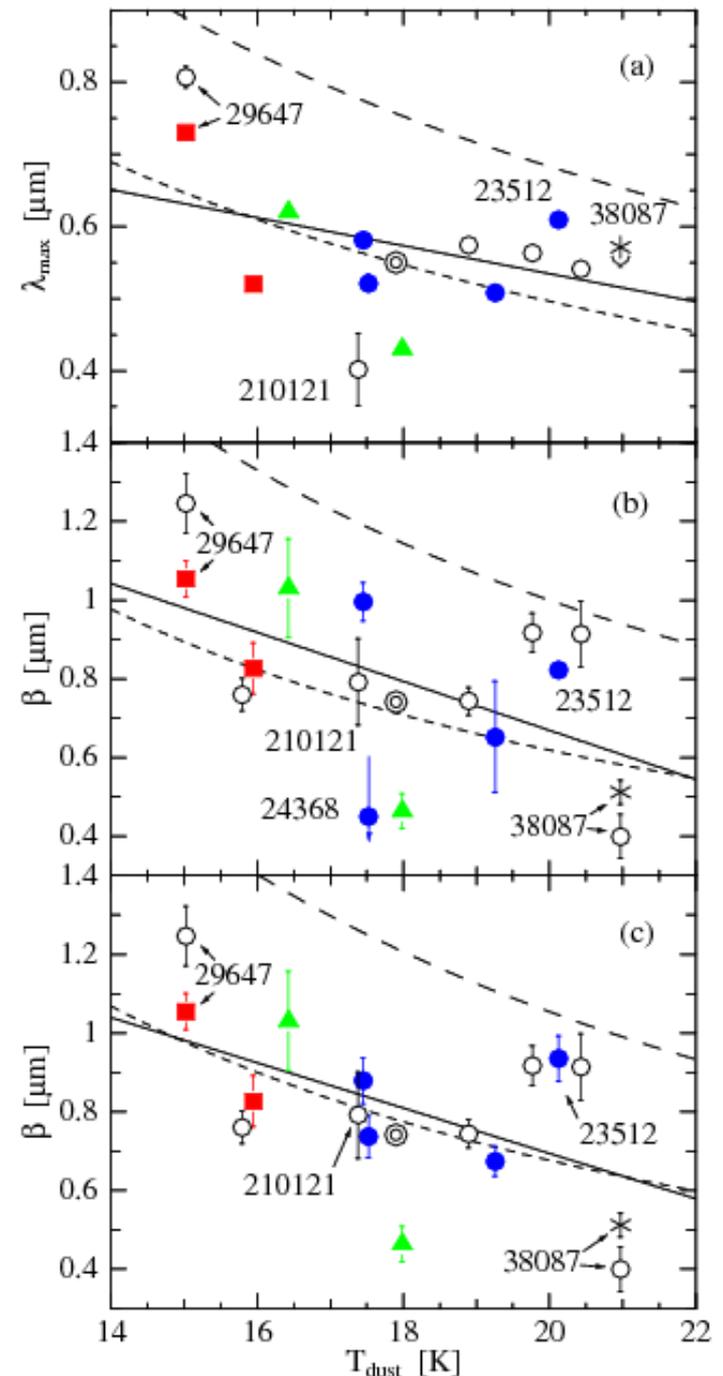


- : プリアデスの星々 (今回の観測)、
- ▲ は、Seki & Matsumura (1996)、
- は Whittet et al. (2001)、
- 白丸○ は、Weitenbeck (1999)、
- \* は Serkowski et al. (1975) による。

# $T_{\text{dust}}$ と $\beta$ の相関(2)

- レフェリーからのコメントに従い、できるだけ、個々の星の  $R_V$  を求めて、使用した。 → (b)
- $R_V$  の誤差が大きい場合も多い。 → プレアデスの星については、HD23512の減光を使った場合も示した。 → (c)

相関係数  $\sim -0.5$



# 更に星の数を増やした場合

文献上で得られるデータ:

Coalsack雲など: Andersson & Potter (2007)

Taurus雲: Whittet et al. (2001)

高銀緯雲: Seki & Matsumura (1996)

diffuse 領域: Serkowski et al., (1975), Weitenbeck (1999)

## • 予想される問題点

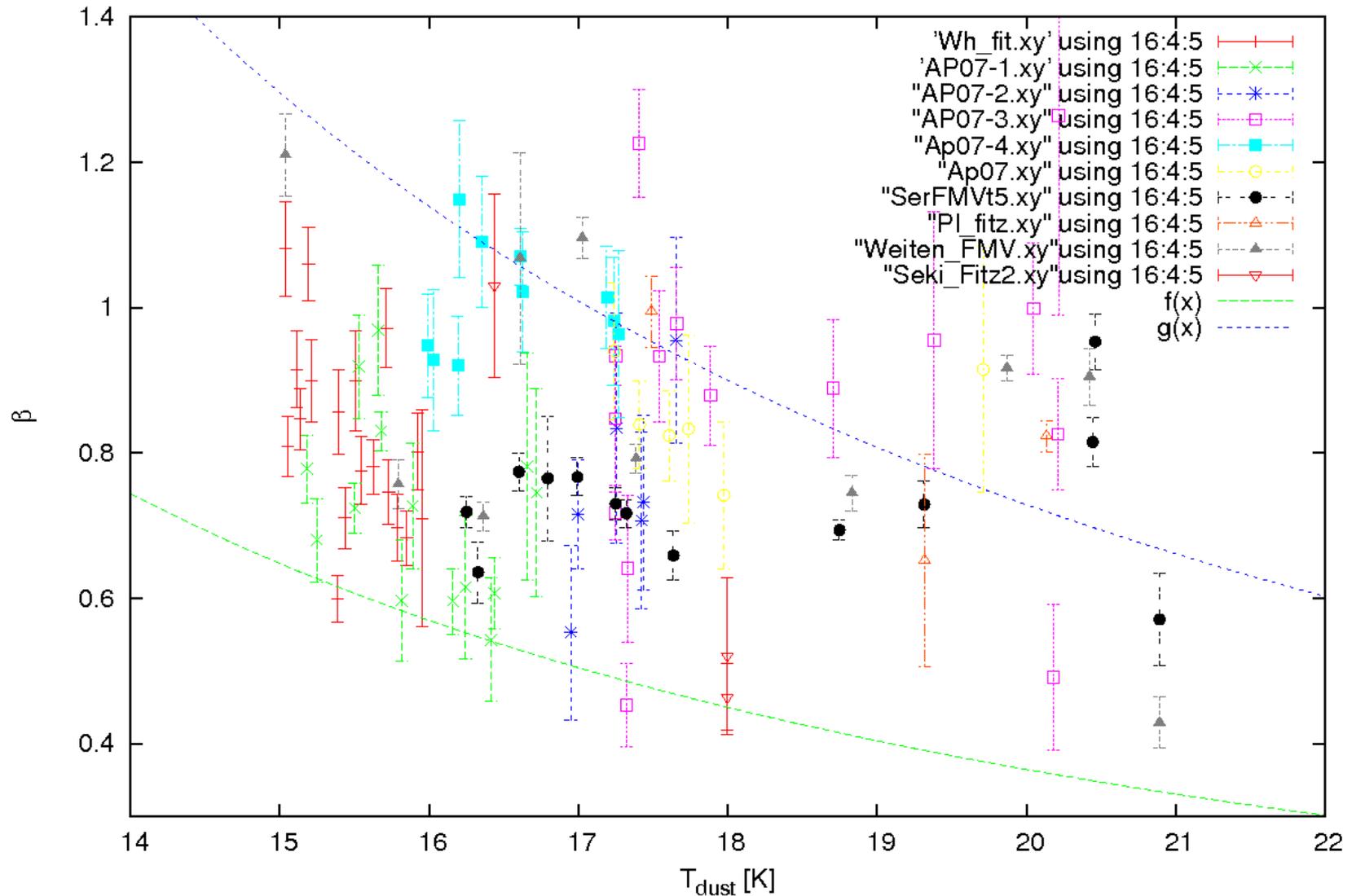
– 可視(偏光、減光)で見える領域はペンシルビーム

– 赤外によって得られる $T_{\text{dust}}$ :

- 光学的に薄い + 空間分解能は低い

- → 光で見るよりも、もっと広い領域の平均である。

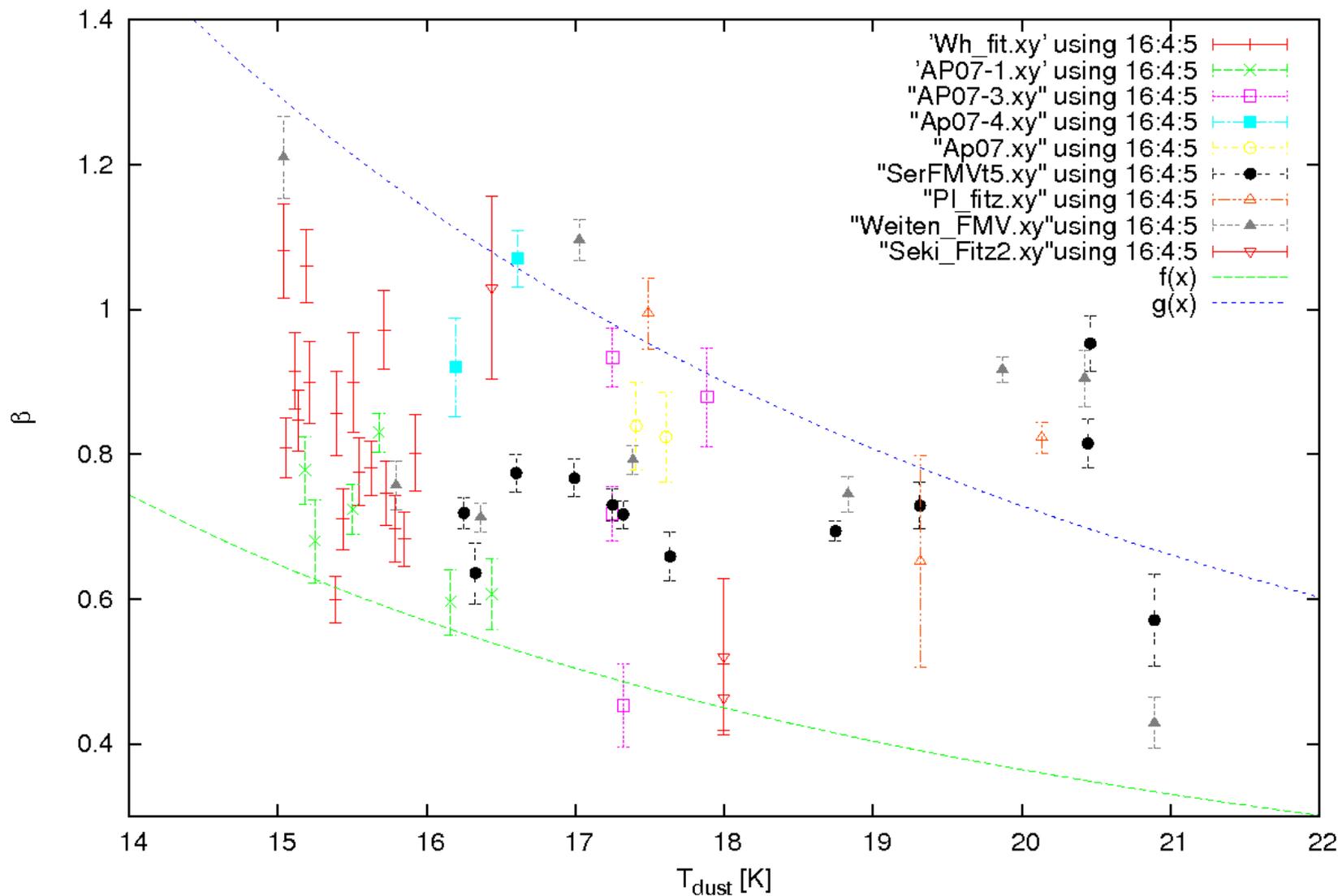
# とにかく、星の数を増やした



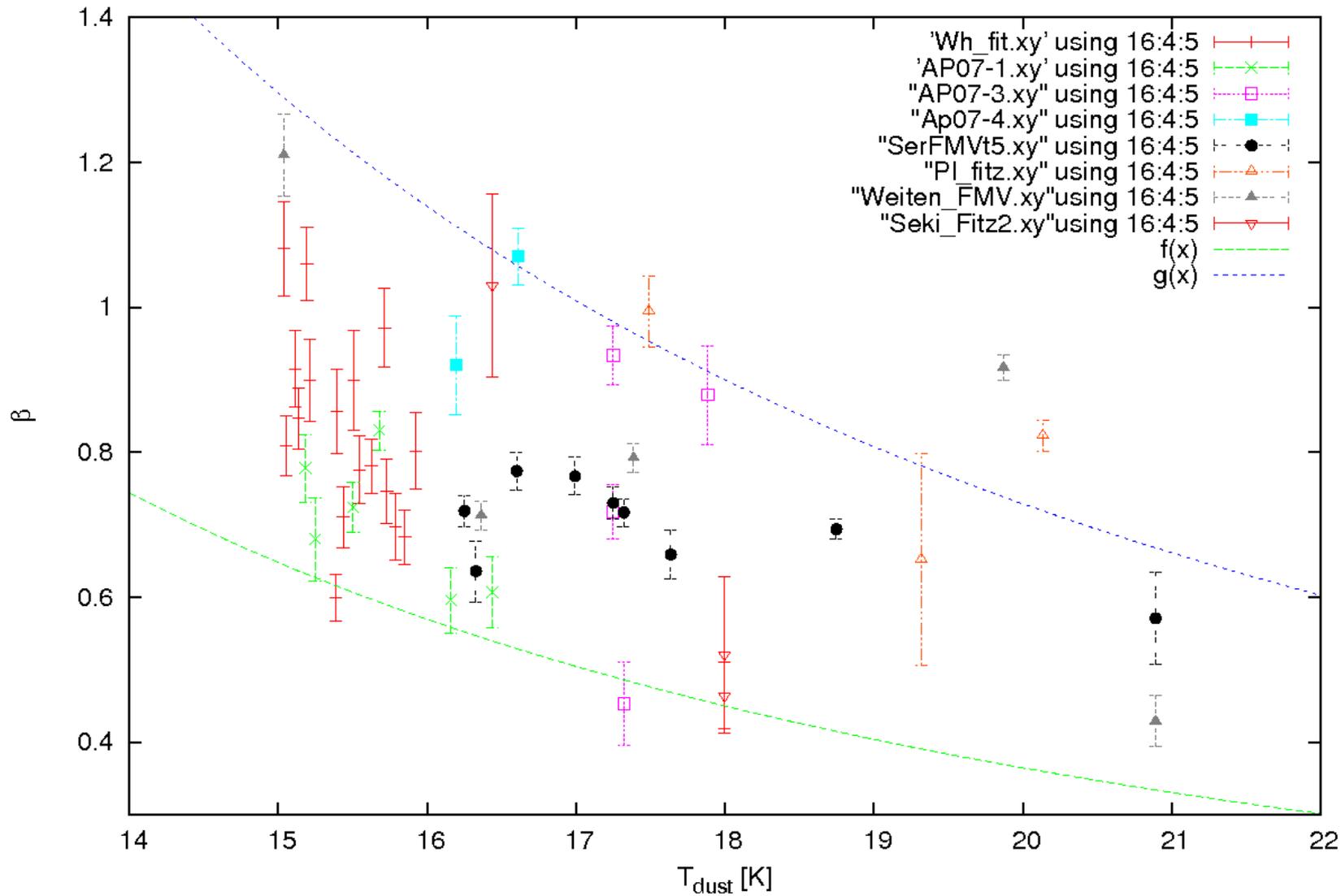
Coalsack雲など (Andersson & Potter, 2007)、Taurus雲 (Whittet et al. 2001)、高銀緯雲

Seki & Matsumura (1996)、diffuse 領域 (Serkowski et al., (1975)、Weitenbeck (1999))

# 誤差の大きいものの ( $\delta\beta > 0.07$ を除去)

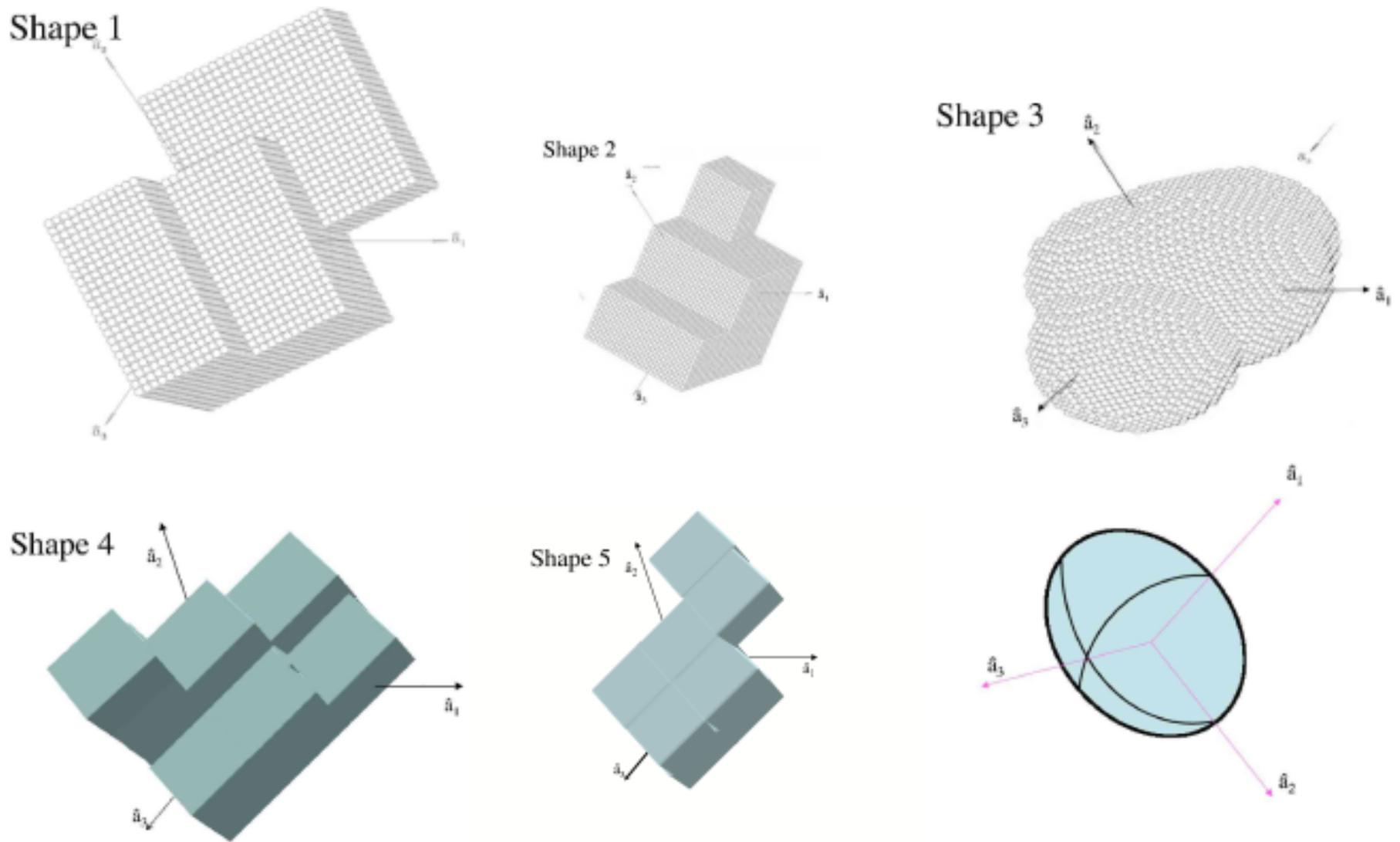


# $A_v(\text{vis.})/A_v(\text{IR}) < 0.4$ を除去



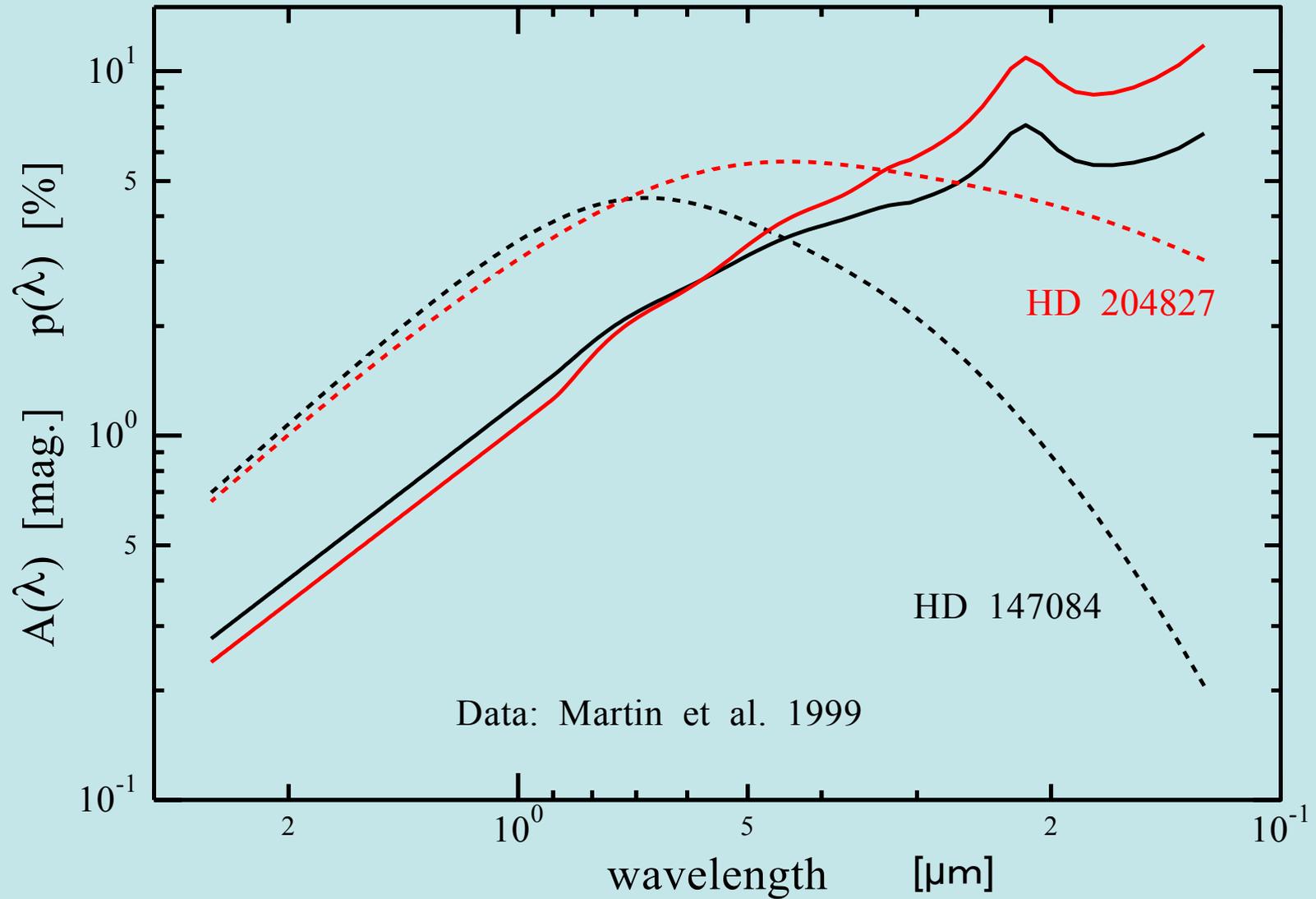
# 今後の課題

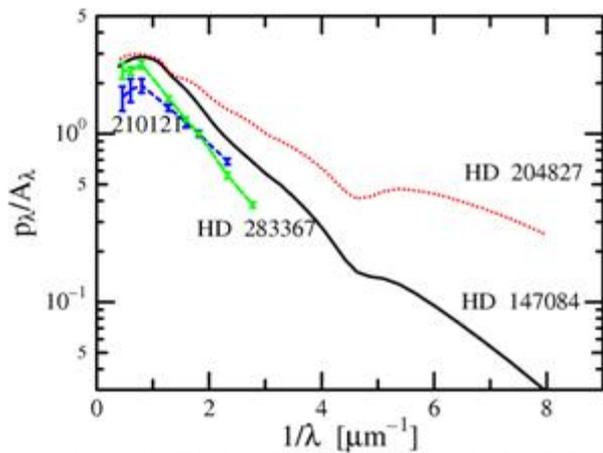
- データの質を良くする：
  - より良いデータ(特に $T_{\text{dust}}$ )を使ってみたい。
- モデル：
  - “ねじれ”がある場合の光散乱の計算
  - 星間偏光の説明で、よく用いられる楕円体には、“ねじれ”はない。(次ページ)
  - → 整列と偏光について、無矛盾なモデルを作る。
    - Discrete Diode Approximation 法 (Draine)
- 紫外域では？



**Figure 4.** Geometry of grains under study: shape 1, 2, 3 are similar to those of DW97, shape 4, and 5 are created from 15 and 11 cubic blocks respectively, and an ellipsoidal shape.

# 紫外域では？





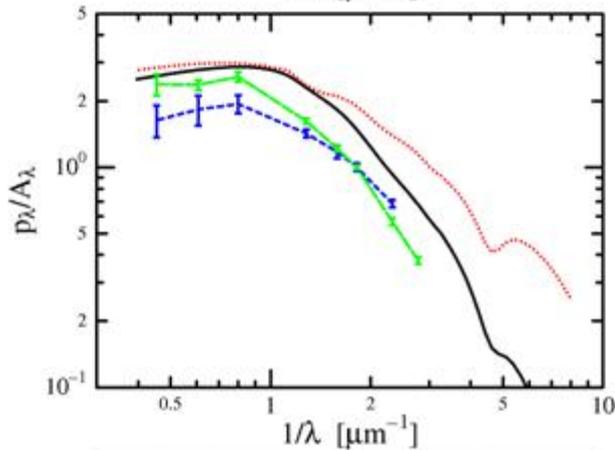
HD204728

HD147084

Data:  
Martin et al.

紫外域でも、ほぼ

$$P_\lambda/A_\lambda \propto \exp(-\beta/\lambda)$$



• 紫外域の偏光の意味？：

– Das et al. 2010 によると、視線方向と整列方向(磁場)のなす向きに依存

– Lazarian (2007) によると、紫外域では、DG機構が利いているのではないか？

→ 磁場の強度？

– ???

