

太陽系小天体の偏光観測

黒田大介(岡山/NAOJ), 石黒正晃(ソウル大),
秋田谷洋(広島大), 渡辺誠, 合田周平, 今井正堯(北大),
長谷川直(ISAS/JAXA), 関口朋彦(北教大),
臼井文彦(東大), 花山秀和(石垣島/NAOJ),
OISTER collaboration

2015/11/12

第6回光赤外線天文学大学間連携WS@三鷹

本講演の概要

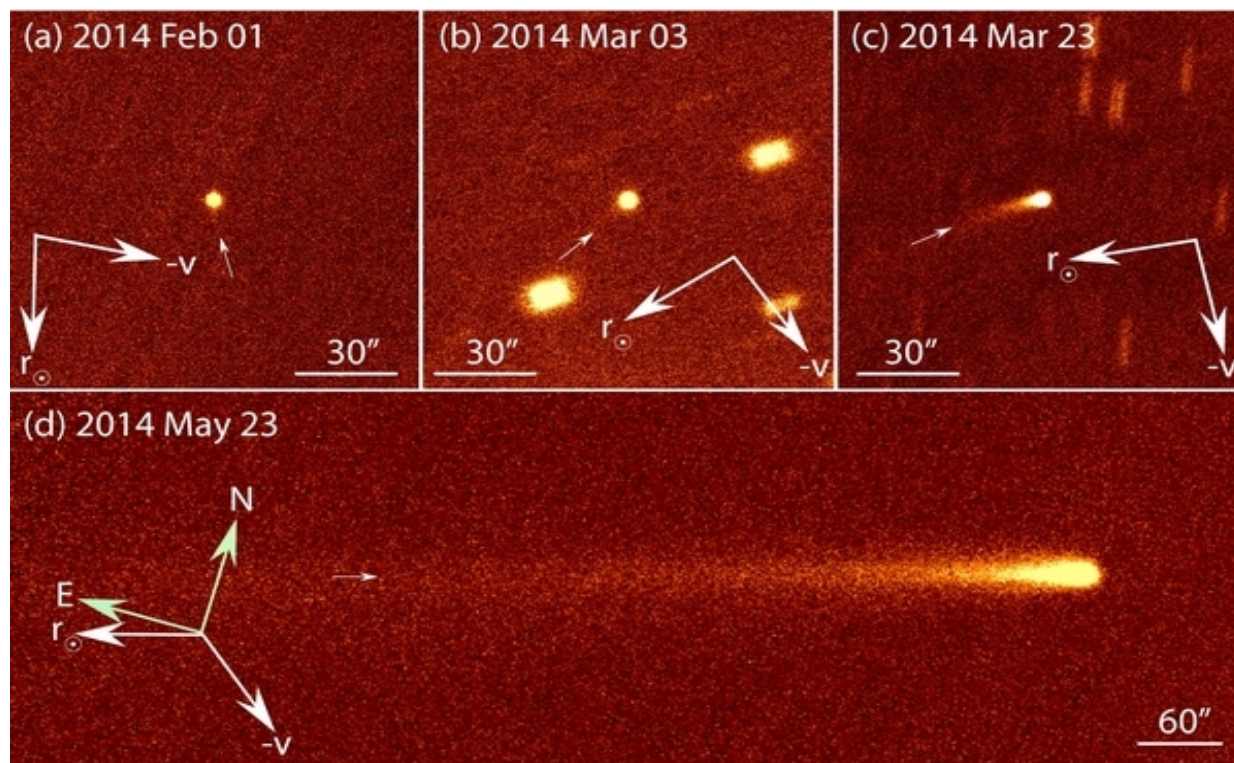
- OISTERキャンペーン観測として実施した209P/LINEARの偏光観測(Kuroda et al., 2015, ApJ, accepted.)の報告.
- その後共同研究として行った小惑星1998KU2の偏光観測の解析結果
- 太陽系天体観測に関して、望遠鏡の機能追加のお願い

OISTERによる観測

- 石黒正晃(ソウル大学)をPIとして、209Pの測光・偏光をキャンペーン観測として提案した。
- 測光観測は石垣島、西はりま、岡山50cmを主体に実施。
測光観測結果はIshiguro *et al.*, 2015, ApJL, 798, L34として出版済み。
- 4-5月の偏光観測は広島大(HONIR)、北大(MSI)にて実施。
偏光観測結果はKuroda *et al.*, 2015, ApJ, accepted
本講演ではこの偏光観測について報告する。

209P/LINEAR

- 2004/2/3に小惑星としてLincoln Near-Earth Asteroid Research (LINEAR)で発見。5/30に尾が観測され彗星として登録。
- 不活性な彗星 → 小惑星に近い。
- 2014/5/6に近日点を通過し、5/29に地球から0.055AUまで接近した。



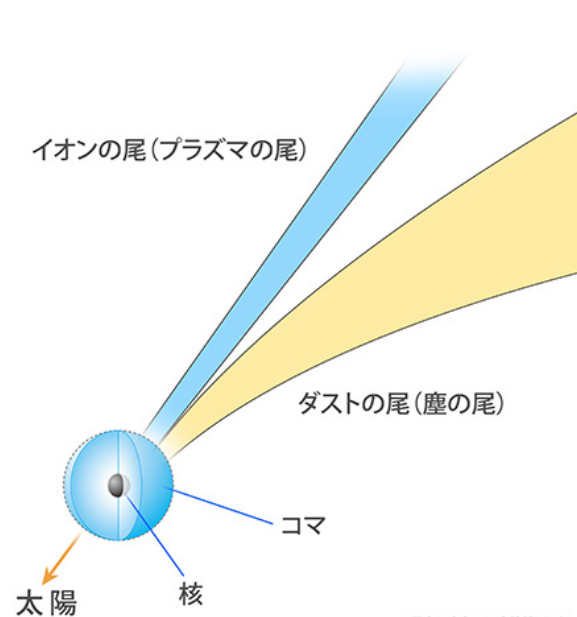
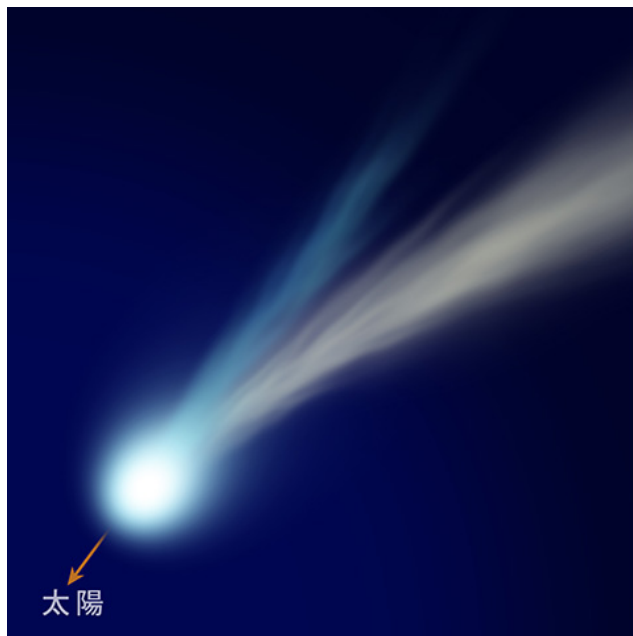
209P/LINERAの偏光観測(目的)

□ 目的

彗星核の最大偏光度を算出する。

□ その背景

- 最大偏光度は位相角90度付近. ➡ 99.2度まで
- 位相角が小さいほど明るい. ➡ ~11.0 Vmag
- コマに覆われ核との分離は難しい. ➡ ごく低活性



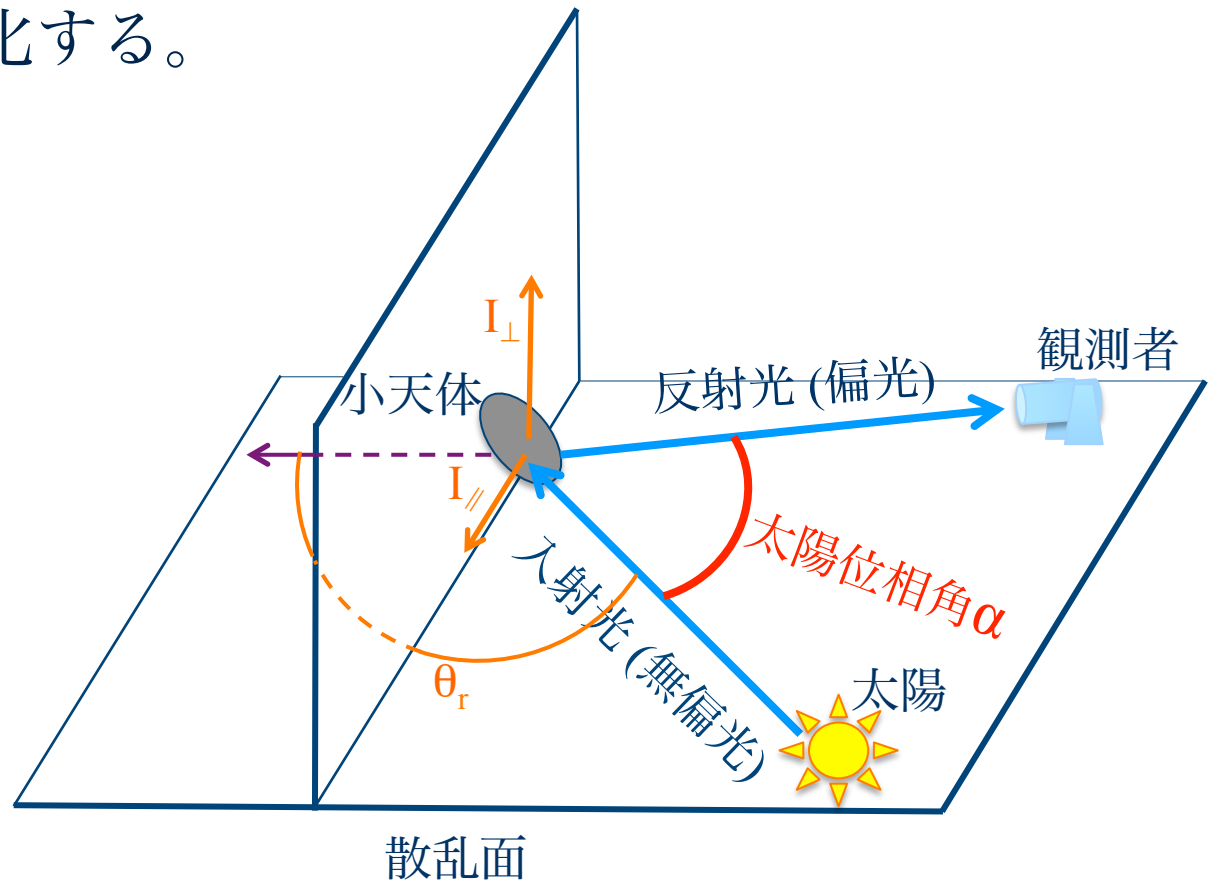
散乱面と太陽位相角 α

- 太陽系小天体の観測は、小天体表面に照射された太陽光の反射光を測定している。
- 太陽、小天体、観測者のなす角度を太陽位相角といい、phase angleあるいは α で表す。この値は、3者の位置関係によって常に変化する。

$$P_r = \frac{I_{\perp} - I_{\parallel}}{I_{\perp} + I_{\parallel}}$$

P_r : 偏光度

θ_r : 偏光方位角



散乱面

太陽系小天体の直線偏光度と偏光方位角

- 太陽系小天体の場合は、散乱面の方位角 ϕ を用いて散乱面からみた偏光度 P_r と偏光方位角 θ_r に変換して比較する (Zellner & Gradie, 1976)

$$P_r = \frac{P_{\perp} - P_{\parallel}}{P_{\perp} + P_{\parallel}} = P \cos(2\theta_r),$$

$$\theta_r = \theta - (\phi \pm 90^\circ), 0^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$$

- 直線偏光度 P と直線偏光方位角 θ は、観測データからストークスパラメータ Q, U, I を用いて以下の式で求める。

$$P = \sqrt{\left(\frac{Q}{I}\right)^2 + \left(\frac{U}{I}\right)^2}, \quad \theta = \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{U}{Q}\right)$$

209P/LINERAの偏光観測(観測と結果)

□ 209Pの偏光観測とその解析結果

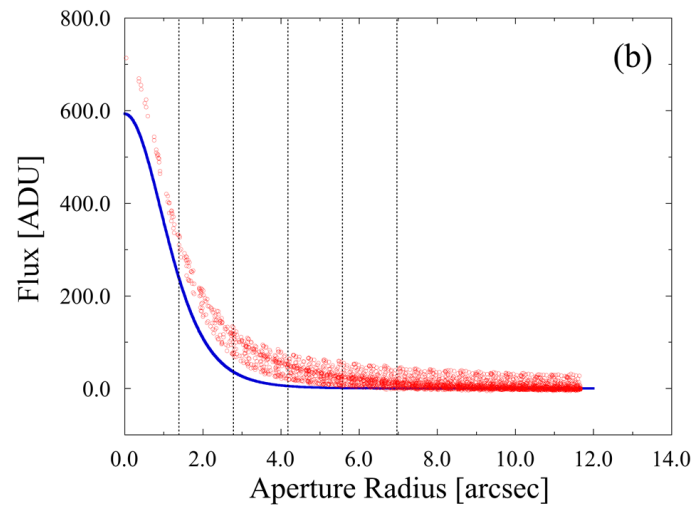
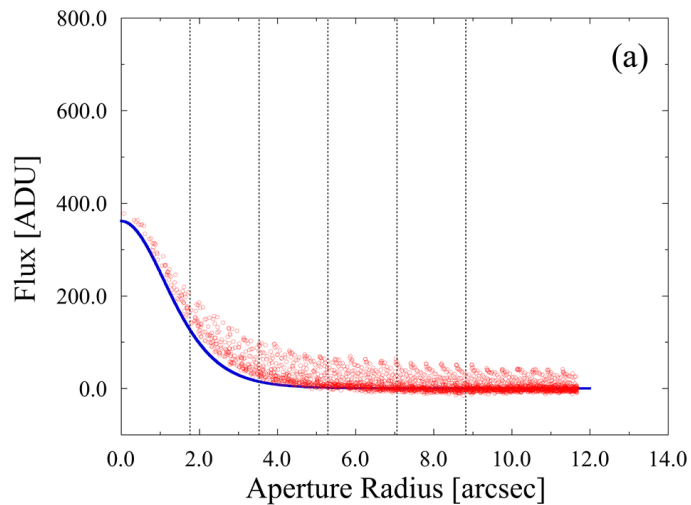
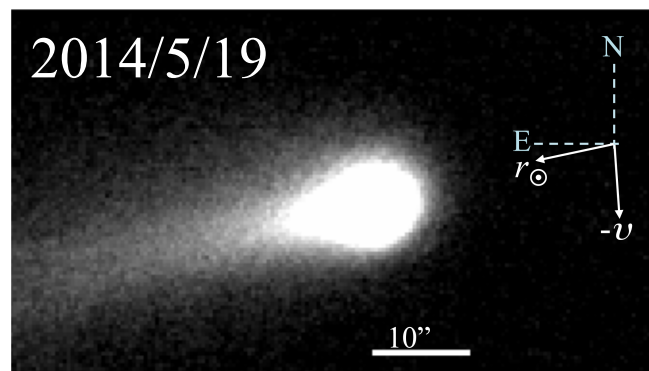
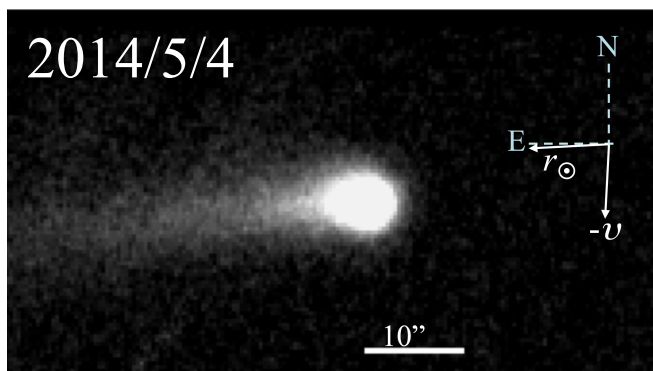
アパーチャサイズ1-5xFWHMで、それぞれ偏光度と偏光方位角を算出

Date	Filter	Inst.	α [°]	P_r [%]	σP_r [%]	θ_r [°]	$\sigma \theta_r$ [°]
2014/04/23	Rc	HONIR	83.5	27.8	4.8	0.9	4.9
2014/04/23	J	HONIR	83.5	30.1	5.5	175.1	5.1
2014/05/01	Rc	HONIR	89.9	28.5	5.8	1.1	5.8
2014/05/01	J	HONIR	89.9	23.7	6.5	2.2	7.9
2014/05/04	Rc	MSI	92.2	29.56	0.24	-1.76	0.27
2014/05/17	Rc	HONIR	99.4	30.0	1.9	-4.1	1.8
2014/05/19	Rc	MSI	99.5	30.30	0.13	-1.12	0.18

アパーチャを5種類変えて測定しているが、3xFWHMの値のみ表示.

209P核の偏光度の導出

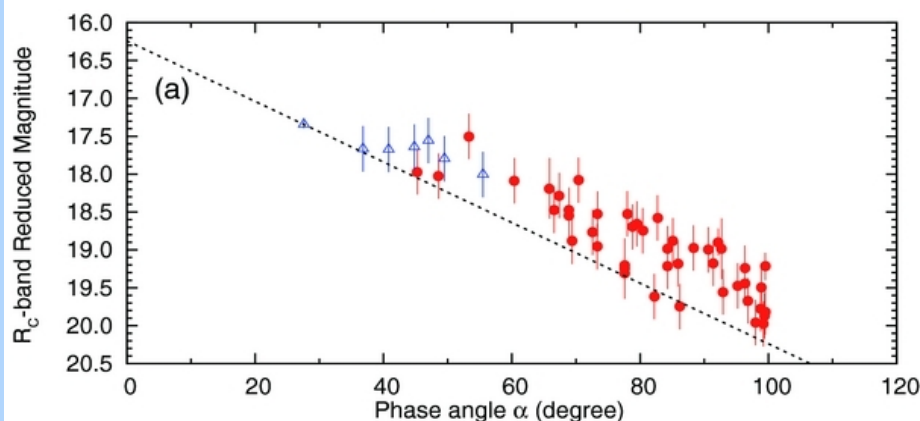
- コマと核の偏光度はフラックス比に比例していると仮定。
 - 彗星のradial profile(図中赤丸)を測定する。
 - 核は点源として観測されるので、PSFは恒星と同様である。



209P核の偏光度の導出(核フラックス推定)

□ 彗星核のフラックス推定.

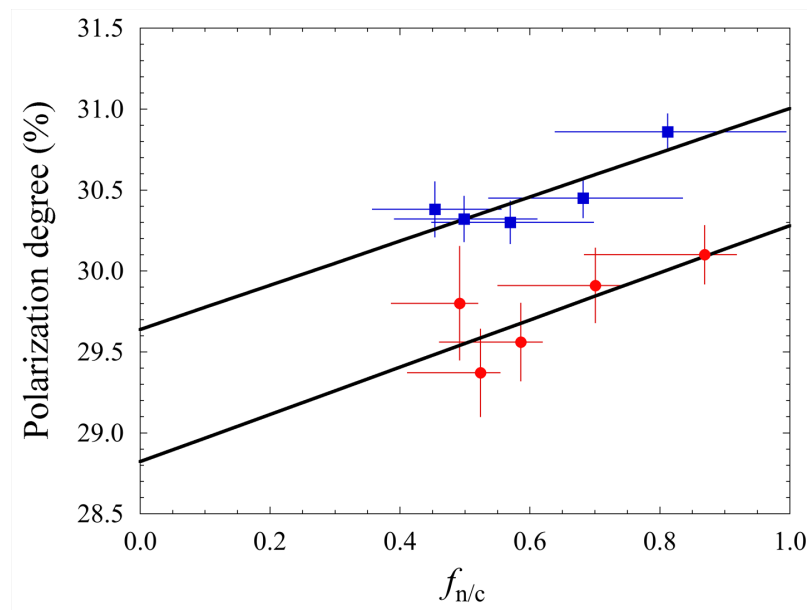
- 核のみの等級は測光モニター(Ishiguro+2015)から算出する.
- 換算等級と恒星PSFから、アパーチャごとに核のフラックスを導出



$$R = 16.24 \pm 0.04\alpha \text{ [mag]}$$

$$\sigma_R : \pm 0.26 \text{ [mag]}$$

Ishiguro et al., 2015



$$P = (P_n - P_c)f_{n/c} + P_c$$

P_n : 核偏光度, P_c : コマ偏光度

209P核の偏光度と偏光方位角

- 移動天体追尾ができた北大MSIのデータのみ使用

位相角	核偏光度	コマ偏光度
$\alpha = 92^\circ.2$	$P_n = 30.3_{-0.9}^{+1.3}\%$	$P_c = 28.8_{-0.4}^{+0.4}\%$
$\alpha = 99^\circ.5$	$P_n = 31.0_{-0.7}^{+1.0}\%$	$P_c = 29.6_{-0.3}^{+0.3}\%$

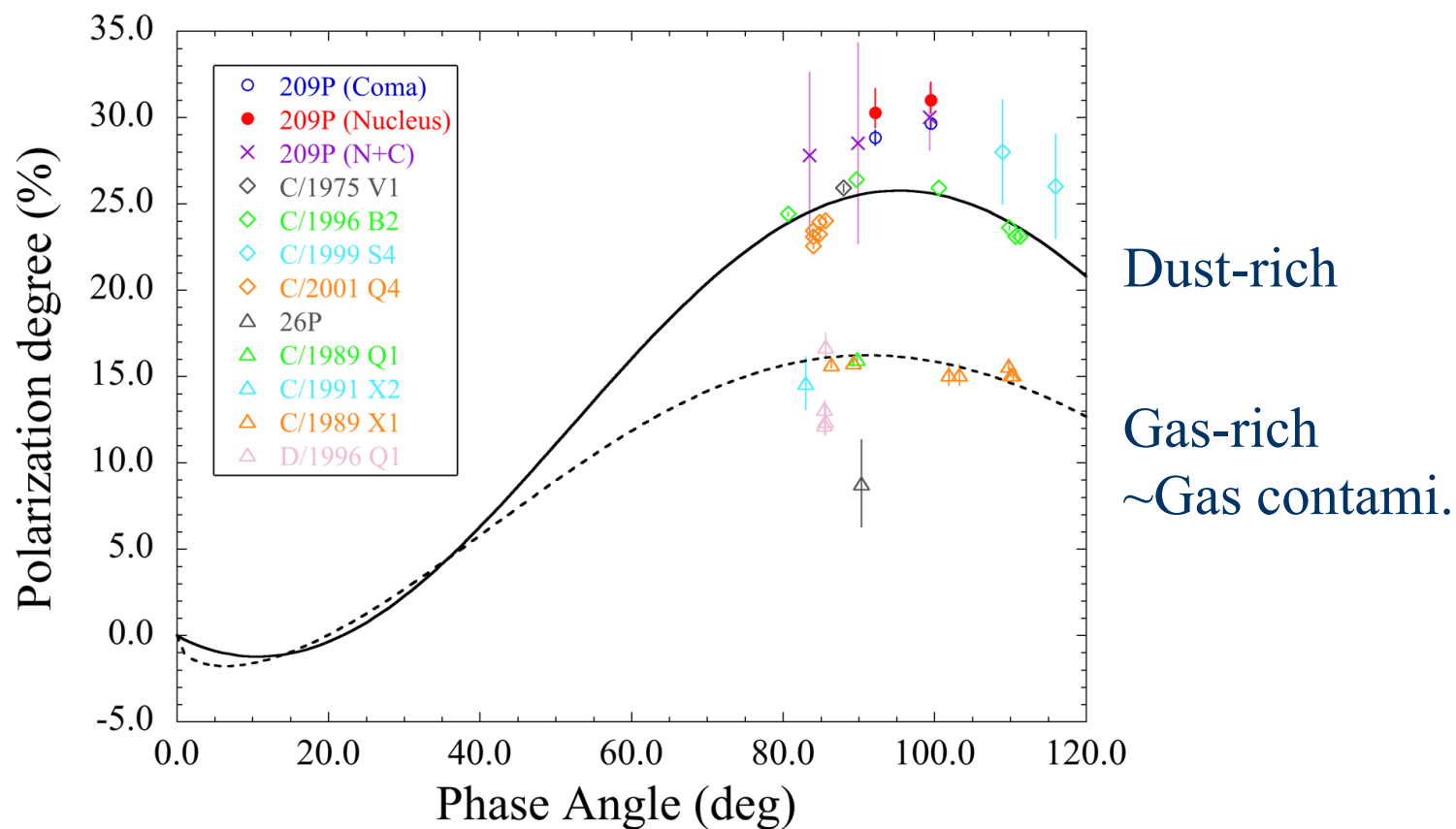
エラーバーには、核の等級換算エラー(0.3mag)を含み、フラックス比が1以上にならない範囲で算出した。

位相角90度付近で、彗星核の偏光度を導出した例は、2P/Encke (34.9%: Jockers et al., 2005, 11%: Jewitt 2004)のみ。どちらも狭帯域フィルタを使用している。

彗星の偏光度-位相角プロット

□ 彗星の位相角-偏光度プロット

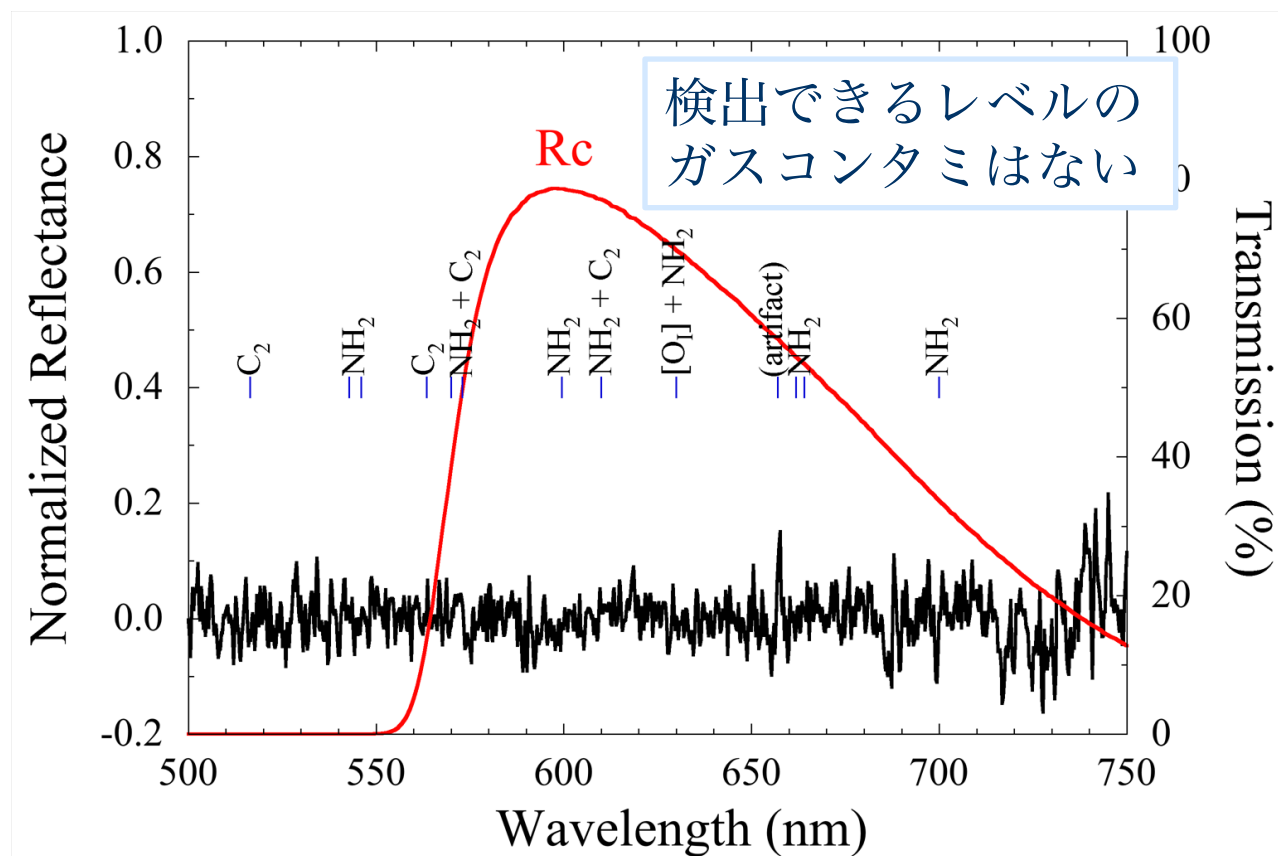
- ・大きく2つのグループに分けられる.
- ・位相角80度以上のデータ点を特にプロットした



過去の研究と比べ、偏光度はやや高め？

209Pの分光観測

- 偏光度に影響を与えるガスのコンタミの有無を確認。
 - ・ 西はりま天文台MALLSによる低分散分光観測を実施した。
 - ・ 主要な輝線はまったく検出されなかった。



エアマスマッチングが不完全でありコンティニュームを引き算してある。

Lumme and Muinoen function

- 位相角-偏光度の変化を表す経験式

Lumme and Muinoen function:

$$P(\alpha) = b(\sin \alpha)^{c_1} \left(\cos \frac{\alpha}{2}\right)^{c_2} \sin(\alpha - \alpha_0)$$

Goidet-Devel et al. 1995; Penttilä et al. 2005

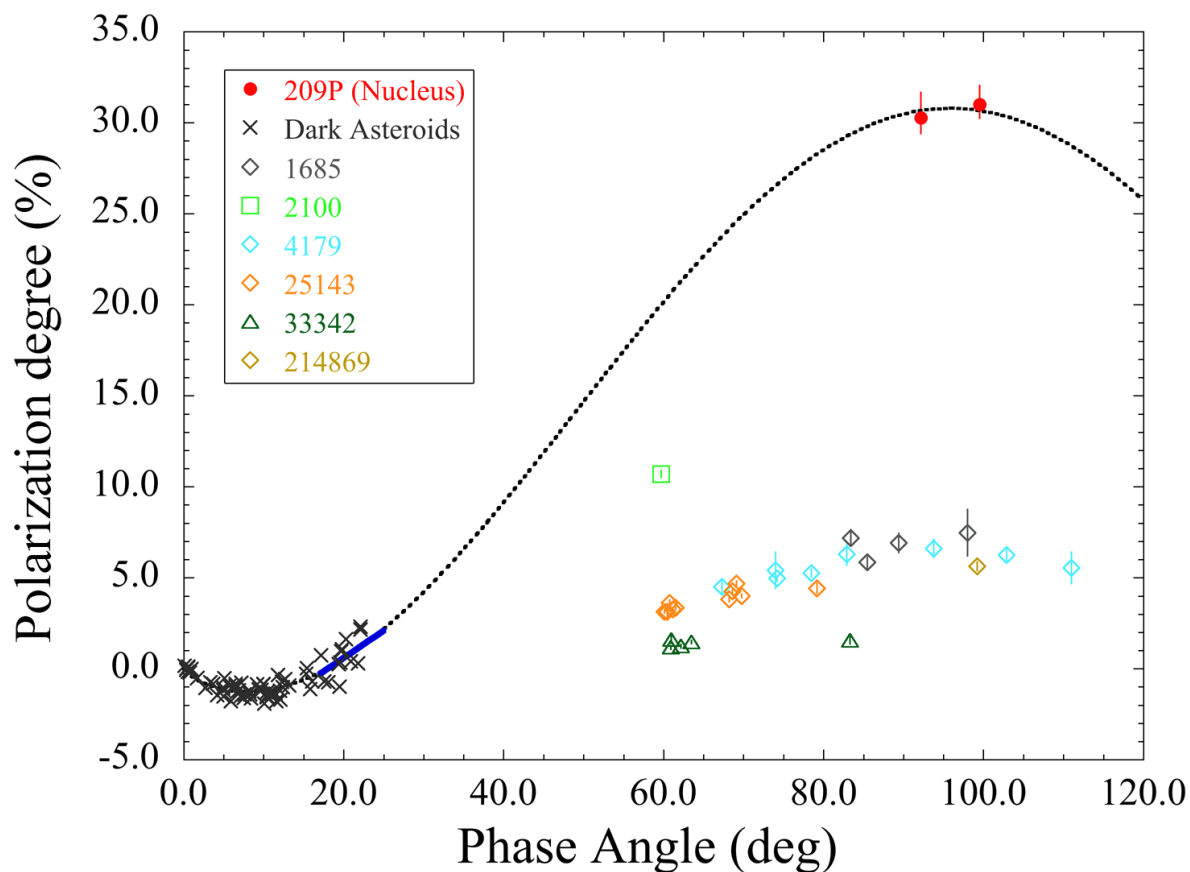
b, c_1, c_2, α_0 : constant parameters

- 我々の観測データは少ないので、過去の同種の天体と合わせて、この関数から偏光度の最大値 P_{\max} とその時の位相角 α_{\max} を得た。

209P 核の P_{\max} と α_{\max}

□ 位相角と偏光度のプロット

- ・ 核~小惑星と考え、過去の研究データ ($\alpha > 60$ 度) をプロット
- ・ 低位相角部分は、低アルベド (< 0.1) の小惑星データを利用



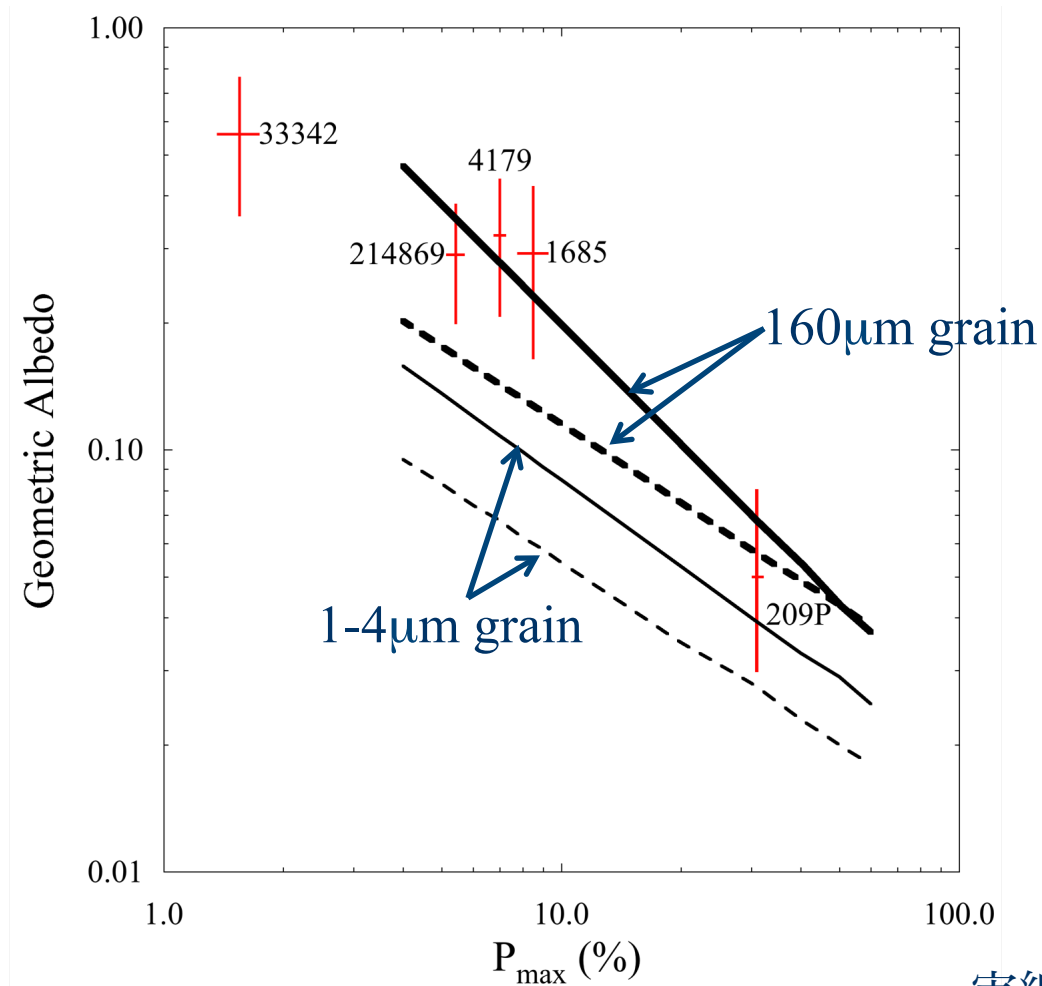
$$P_{\max} = 30.8\%$$

$$\alpha_{\max} = 96^{\circ}$$

$$\text{albedo} = 0.05^{+0.03}_{-0.02}$$

P_{\max} と albedo

- P_{\max} が得られた小惑星は4天体しかなく、アルベドは0.3以上であった。今回初めて低アルベドの P_{\max} が得られた。



実線: Dollfus 1998

破線: Shevchenko & Skobeleva 1995

209P/LINERAの偏光観測まとめ

1. RcとJの偏光度に顕著な差はなかった
2. 彗星核およびダストコマは、共に高い偏光度を示した.
3. 核 $P_{\max} = 30.8\%$, コマ $P_{\max} = 29.6\%$ が得られた.
4. コマの P_{\max} の値は、既知のdust-richな彗星に近い
5. 核 P_{\max} とアルベドの関係は、1-100mmのレゴリス粒子があるとすれば良い一致を示す

太陽系小天体の最大偏光度

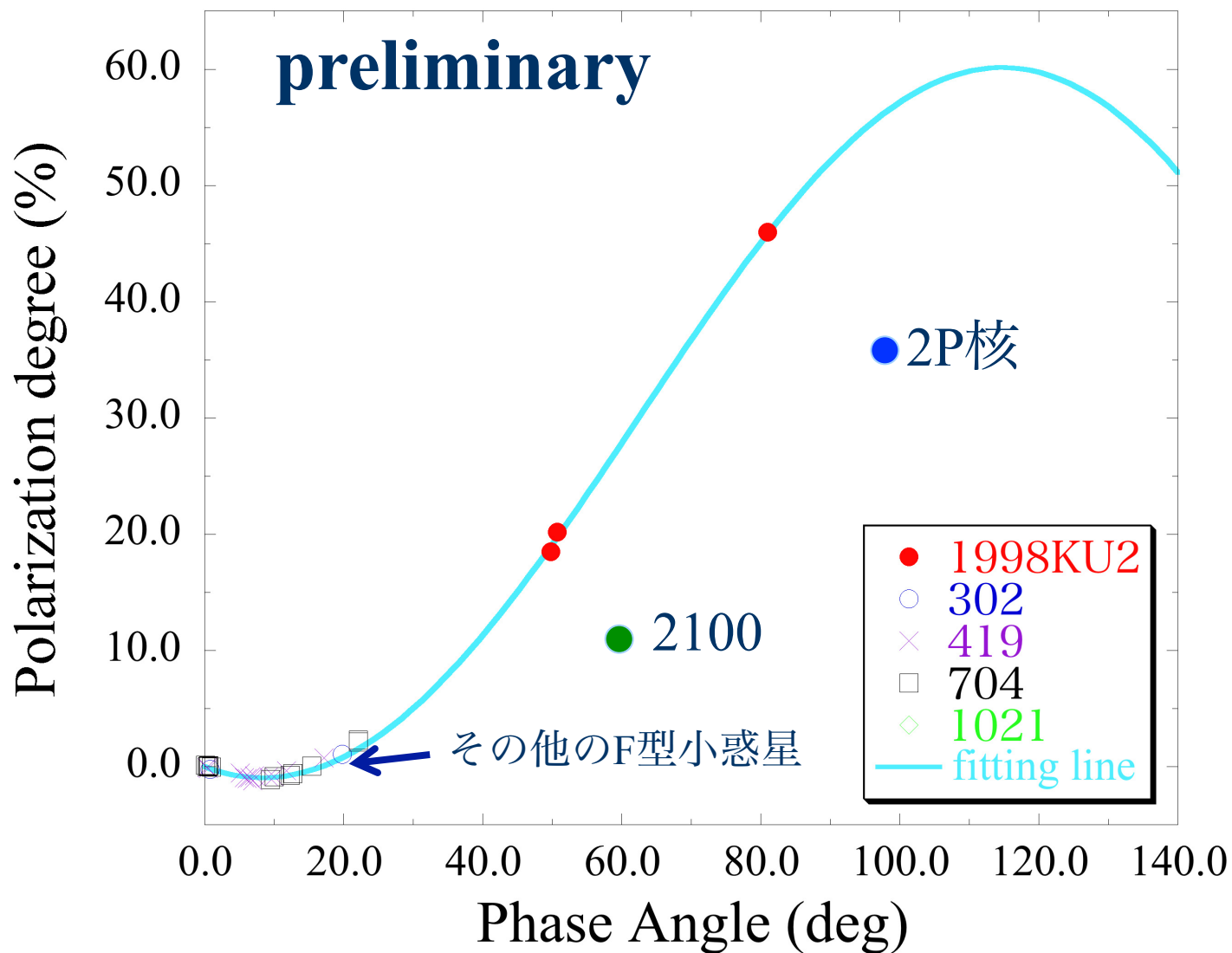
- 偏光度40%以上の天体はないといましたが..嘘でした.
- 石黒(ソウル大)を中心とする我々のグループでは、共同研究ベースで北海道大学MSIを使った太陽系小天体の偏光観測を継続している.
- 今夏に観測した1998KU2という小惑星は、これまでにない極めて高い偏光度を持つことが分かった.

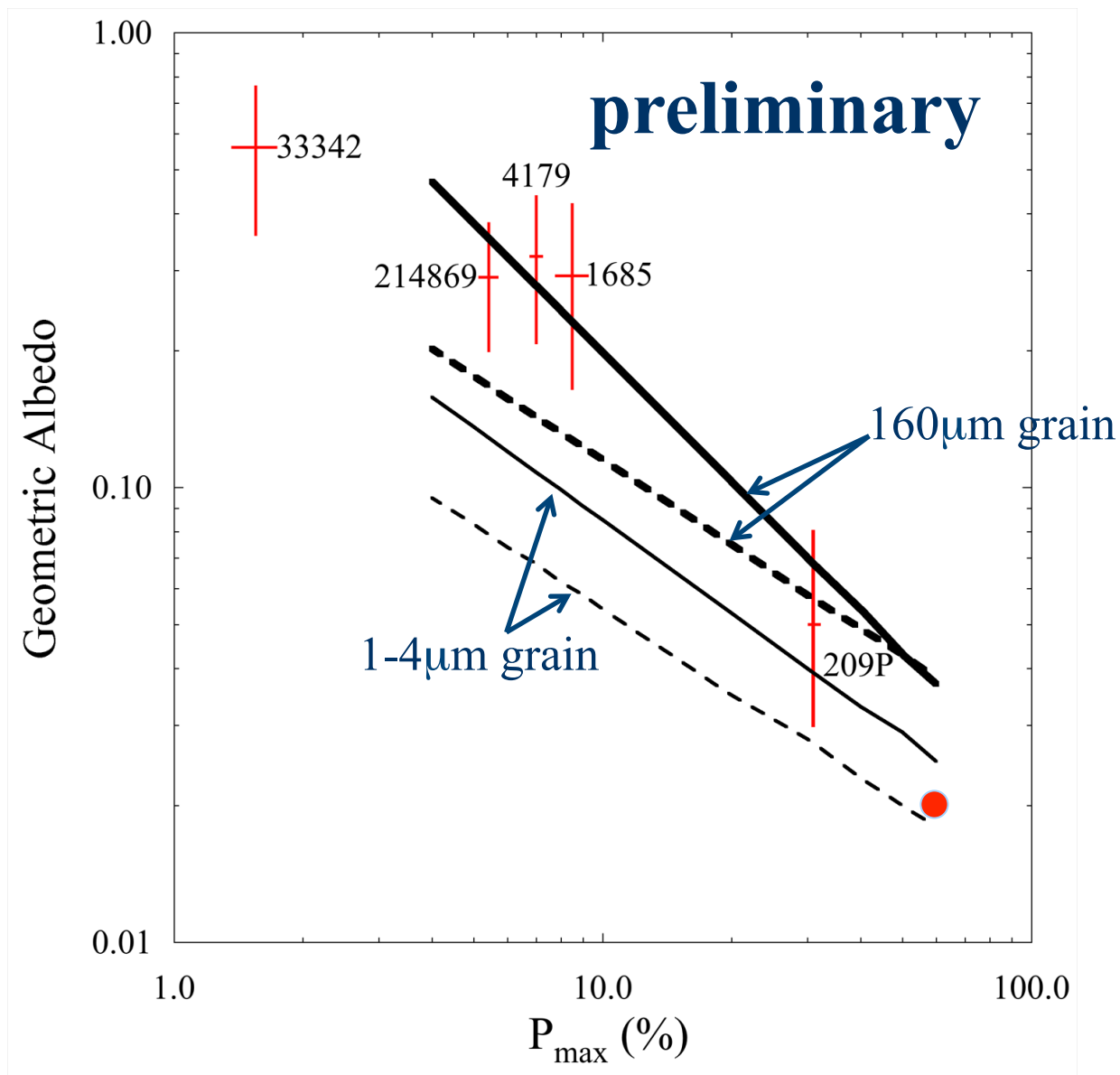
小惑星 (152679) 1998KU2

特徴

- 小惑星の中でF型(C型のサブグループCb)に分類される。
- WISEによるアルベド0.018(Mainzer et al., 2012)と暗い小惑星のひとつ。
- 2008TC3(Almahata Sitta隕石)の母天体の可能性。
- 位相角が81度まで達するので観測を行った。
- その結果、 $P_r = 44.4 \pm 0.8\%$ 、外挿から求めた $P_{\max} = 60\%$ 。

1998KU2 位相角-偏光度プロット



P_{\max} と albedo

今後の計画

- 我々のグループでは、引き続き太陽系小天体の偏光観測を行って行きたいと考えている.
- ぜひ、**移動天体追尾**の導入を検討していただきたい.
N社製望遠鏡であれば、比較的簡単に実現できる.