

彗星ダストトレイル粒子の 散乱位相関数

猿楽祐樹 (JAXA)

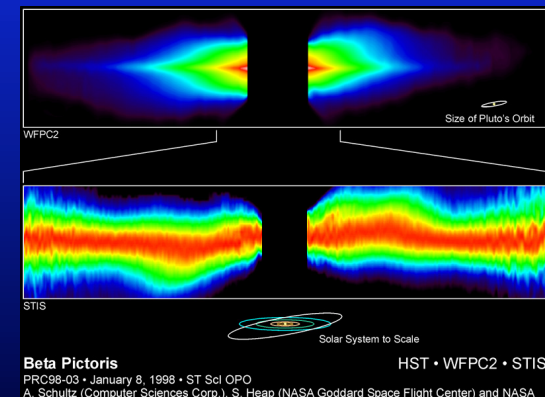
石黒正晃 (ソウル大)

上野宗孝 (JAXA)

臼井文彦 (JAXA)

惑星間ダスト

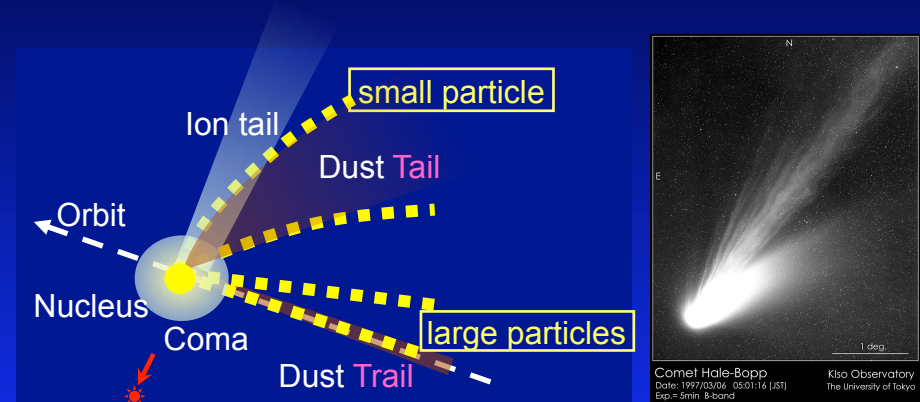
- ・ 黄道光、黄道放射：惑星間に存在するダスト (惑星間ダスト)の太陽散乱光、熱放射
- ・ ポインティング・ロバートソン効果によって太陽に落ち込む
 - 2AU, 直径10 μ mのダストの寿命 ~ 1.6万年
 - 5AU, 直径100 μ mのダストの寿命 ~ 100万年
- ・ 惑星間ダストの寿命 \ll 太陽系の年齢
 - 現在でもダストが存在するためにはなんらかの供給源が必要
- ・ 主な供給源として彗星、小惑星が考えられているがその割合は未解決
- ・ 供給源を明らかにすることは、我々の太陽系の理解と共に系外の惑星系の理解にもつながる



彗星から惑星間ダストへの質量供給

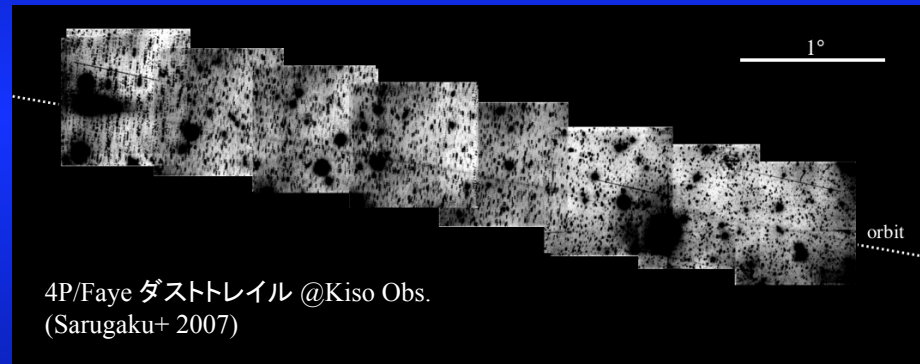
・ μm サイズのダスト

- ダストテイルとして観測される
- 光散乱断面積への寄与: 大
- ダスト放出量への寄与: 小



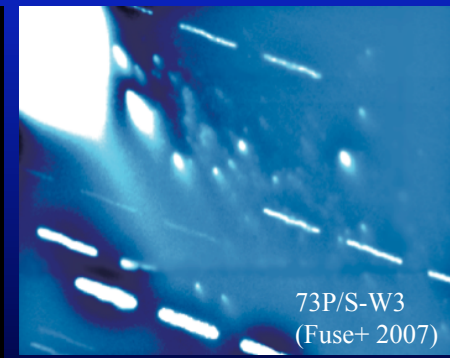
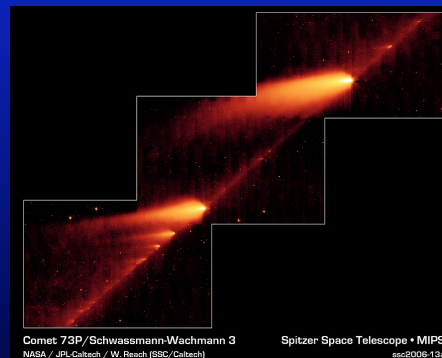
・ mm, cmサイズのダスト

- ダストトレイルとして観測される
- 光散乱断面積への寄与: 小
- ダスト放出量への寄与: 大



・ 彗星核の分裂、崩壊

- 木星族彗星(短周期彗星)が分裂する確率
~ 1% / 周期(Fernandez 2005)



トレイル観測による 彗星のダスト放出量推定

・ スペース赤外線観測

- 感度が高い
- チャンスが限られている(短周期彗星の公転周期~6-7年)

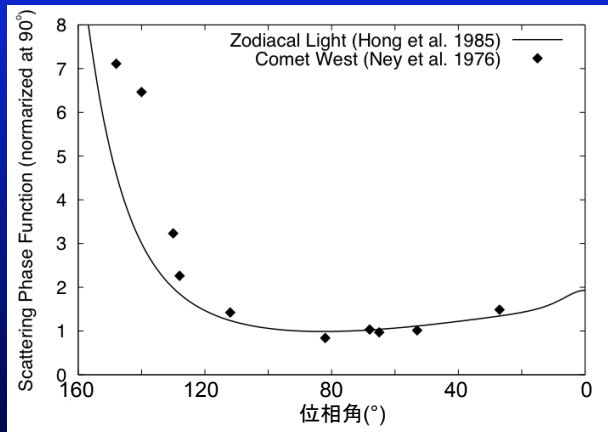
* 1回の撮像観測では、ダストサイズの決定が困難

・ 地上可視光観測

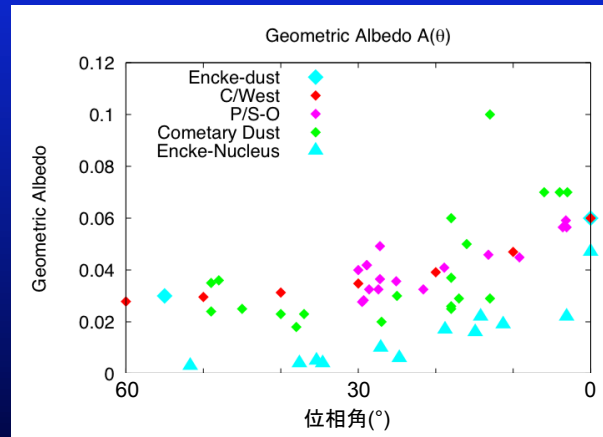
- 感度が低い
- 継続的な観測が可能
- 複数の位置関係(彗星-観測者)で観測可能
- 周期毎の放出量の違いを検証可能

* トレイル粒子のアルベド、散乱位相関数は未決定

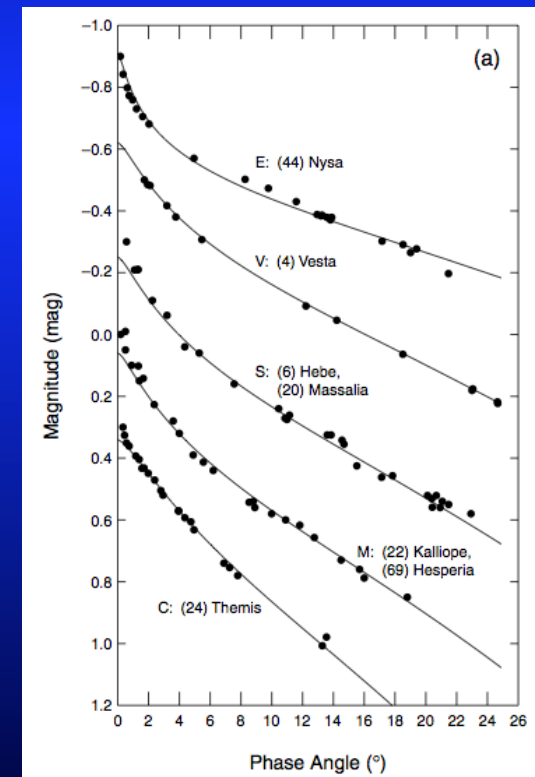
位相角(phase angle):
太陽-天体-観測者のなす角



惑星間ダスト・彗星ダストの散乱位相関数



ダストテイル/コマ・彗星核の散乱位相関数



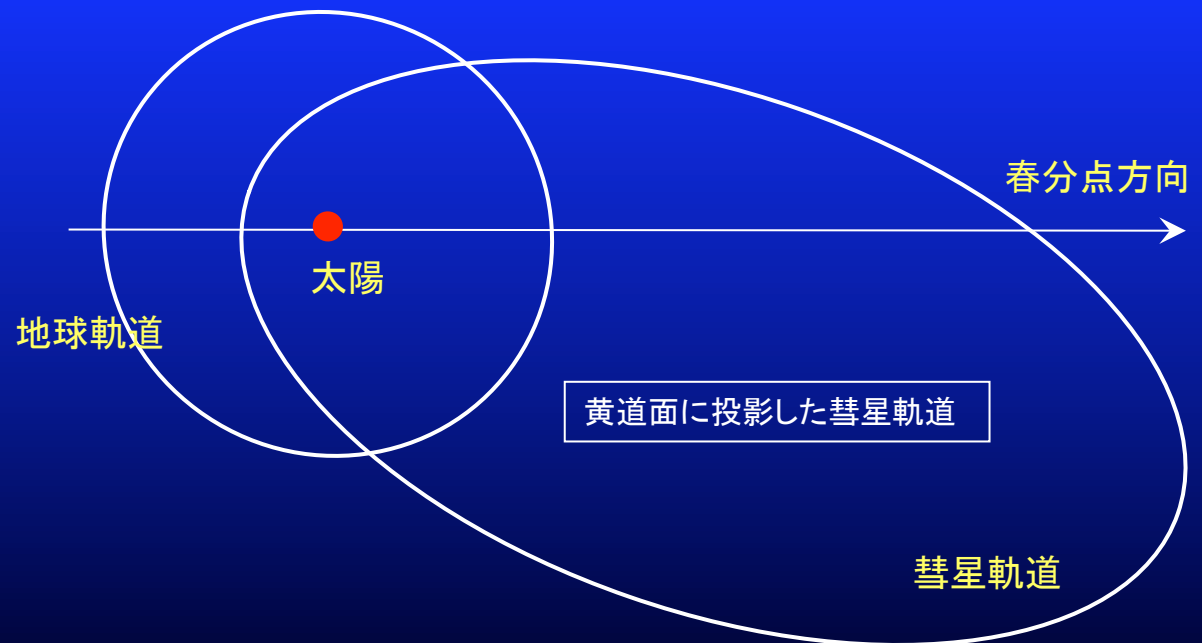
小惑星の位相曲線(Muinonen+ 2002)

2P/Encke彗星

- ・ 発見年が古く、公転周期も短いため多くの観測が行われており、様々な情報が得られている(自転軸、自転周期、活動領域の位置等)
- ・ 揮発性成分が枯渇しかけた彗星と考えられている
- ・ トレイルが赤外と可視の両方で検出されており、既知のトレイルの中で一番明るい (Sykes & Walker 1992, Reach et al. 2000, Ishiguro et al. 2007)
- ・ 近日点が1AU以下 → 位相角 90° 以上での観測が可能

軌道要素

近日点距離: 0.34AU
遠日点距離: 4.10AU
公転周期: 3.3年
離心率: 0.85
軌道傾斜角: 11.8°



散乱位相関数決定を目的としたトレイル観測

- ・ 2003年木曾シュミットシンポジウムで観測提案

- “2P/Encke彗星ダストトレイル粒子の散乱位相関数決定のための観測提案”, 猿楽&石黒

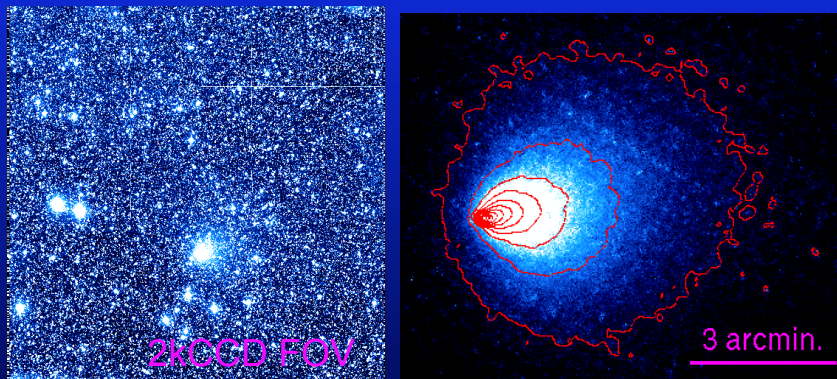
- ・ 2003年11-12月に観測

- 位相角: 0.9-135°

- ・ 結果

- トレイル不検出

(猿楽修論, 木曾シュミットシンポ2005)



date	日心距離 (AU)	地心距離 (AU)	位相角 (°)	band	exp(min.)
2002.9.9	3.975	2.969	0.9	R	72
2003.9.22	1.779	0.939	24.5	R	65
2003.11.14	1.052	0.263	69.1	R	86
2003.11.16	1.019	0.261	76.0	R	40
2003.11.17	1.003	0.261	79.4	R	67
2003.11.18	0.986	0.261	83.0	R	73
2003.11.21	0.936	0.267	93.3	R	58
2003.11.22	0.918	0.270	97.0	R	67
2003.11.23	0.902	0.273	100.2	R	53
2003.11.26	0.850	0.287	110.2	R	48
2003.12.2	0.744	0.330	129.1	R	26
2003.12.4	0.707	0.349	135.0	R	16

その後も観測を継続

トレイルが検出された観測

UT Date (mm/dd/yyyy)	$t-t_p$ (day)	TA (°)	日心距離 (AU)	地心距離 (AU)	位相角 (°)	望遠鏡
09/09/2002	-476	186.0	3.97	2.97	0.9	KST
09/22/2003	-98	220.1	1.78	0.94	24.6	KST
05/23/2004	146	149.0	2.29	2.12	26.2	UH88
08/13/2004	228	158.4	2.94	1.93	1.7	KST
09/09/2004	255	160.7	3.12	2.25	11.0	UH88
09/19/2006	995	203.2	2.83	1.85	5.0	KST
09/20/2006	996	203.3	2.82	1.84	4.7	KST
09/22/2006	998	203.5	2.80	1.82	4.1	KST
09/23/2006	999	203.6	2.80	1.81	3.9	KST
10/15/2006	1021	205.9	2.63	1.70	9.7	KST
10/16/2006	1022	206.1	2.62	1.70	10.1	KST
01/15/2007	1113	221.4	1.72	1.73	28.9	KST
02/12/2007	1141	230.8	1.36	1.96	27.9	KST
02/19/2007	1148	234.0	1.26	1.91	27.9	KST

t_p : 近日点通過日 (Dec. 29, 2003), TA : 真近点離角

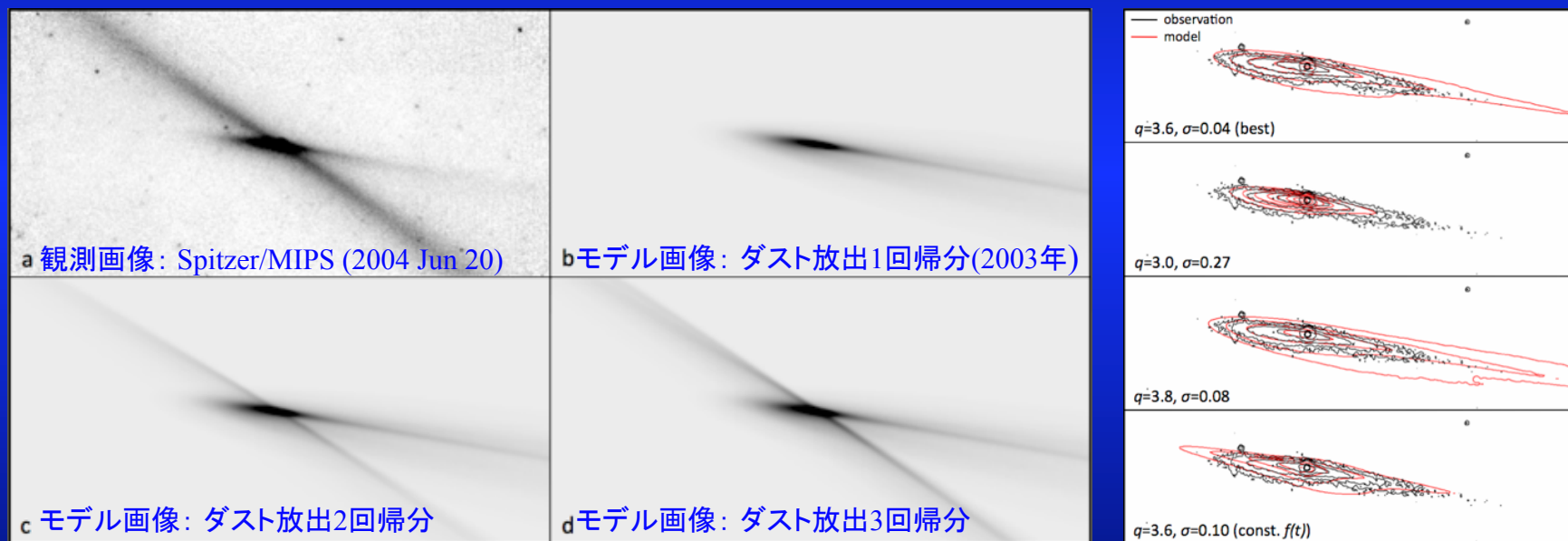
- ・ 観測日が異なるとダストの個数密度が変化
- ・ 回帰が異なるとダスト放出量が変わる可能性

→ 個数密度の補正が必要

モデルによる個数密度の補正

- ・ 彗星の自転軸、活動領域の位置を考慮したモデルで、ダスト分布をシミュレート
- ・ ダストの放出量、サイズ分布、放出速度は観測画像との比較から最適化

観測画像とモデル画像



- ・ 2003年に放出されたダスト雲の形状(輝度分布)から放出パラメータを推定
- ・ 過去の彗星活動の推定までは至っていない

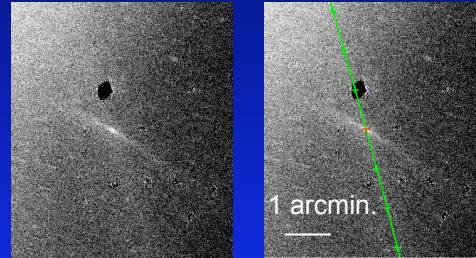
* 2003年に放出されたダスト雲にしか適用できない
* 時間が経つと、トレイルに重なっていく(次ページ)

ダストトレイルの成長

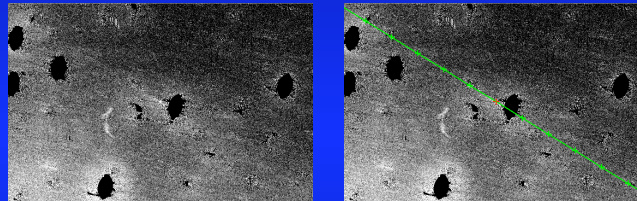
Observation

green line : orbit
cross : MA (interval = 0.1°)

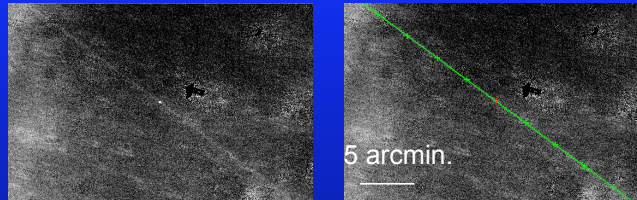
146 days from t_p
May 23, 2004
 $r=2.3$ AU, $\Delta=2.1$ AU



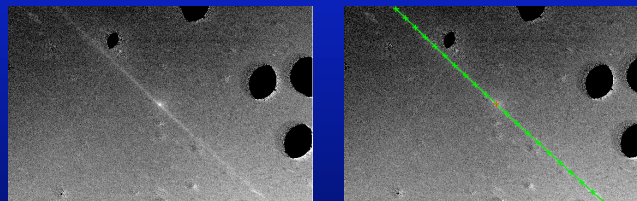
228 days from t_p
Aug. 13, 2004
 $r=2.9$ AU, $\Delta=1.9$ AU



995 days from t_p
Sep. 19, 2006
 $r=2.8$ AU, $\Delta=1.9$ AU



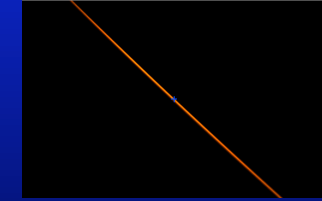
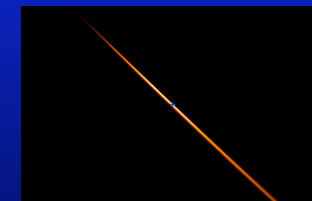
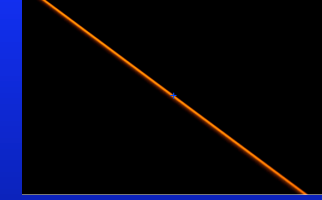
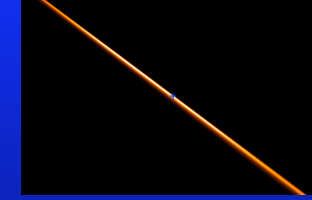
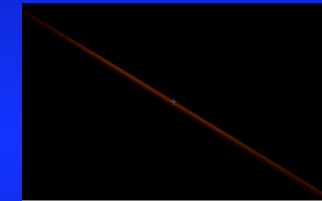
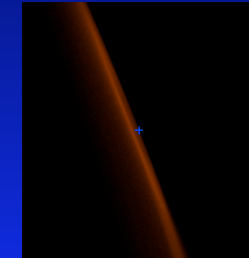
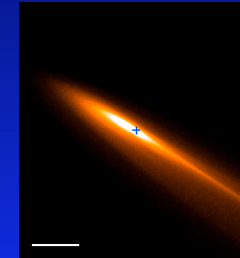
1141 days from t_p
Feb. 12, 2007
 $r=1.4$ AU, $\Delta=2.0$ AU



Model

dust in 2003 return

dust in 2000 return



*トレイル粒子の単位MA内の個数密度は変化していくが、その変化を無視できる長さのMAで明るさを積分して比べればよい

平均近点離角 $MA = 2\pi(t-t_p)/T$

t : 観測時刻

t_p : 近日点通過時

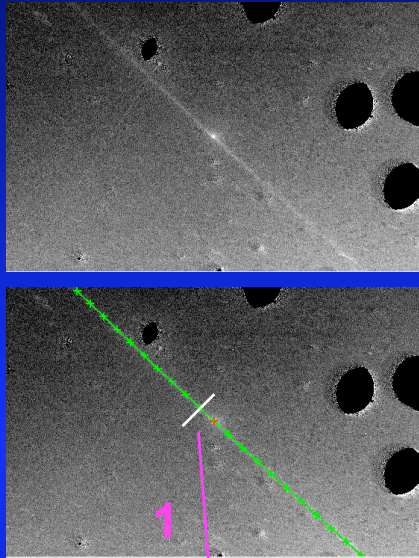
T : 公転周期

データの分類

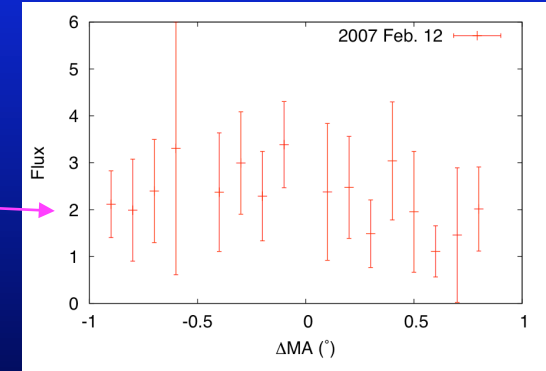
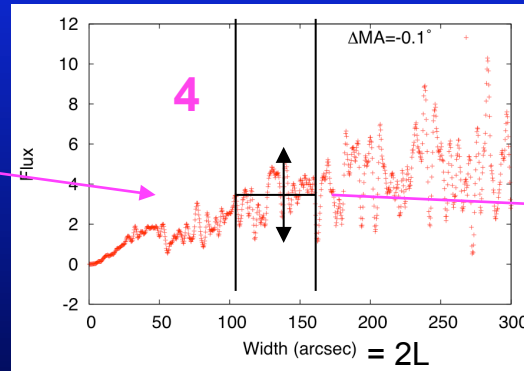
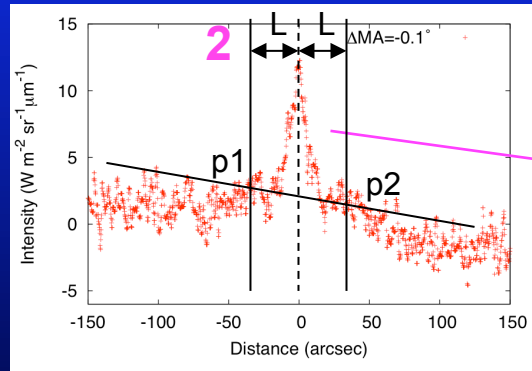
UT Date (mm/dd/yyyy)	$t-t_p$ (day)	TA (°)	日心距離 (AU)	地心距離 (AU)	位相角 (°)	望遠鏡
09/09/2002	-476	186.0	3.97	2.97	0.9	KST
09/22/2003	-98	220.1	1.78	0.94	24.6	KST
05/23/2004	146	149.0	2.29	2.12	26.2	UH88
08/13/2004	228	158.1	2.31	1.83	1.7	KST
09/09/2004	255	160.7	3.12	2.25	11.0	UH88
09/19/2006	995	203.2	2.83	1.85	5.0	KST
09/20/2006	996	203.3	2.82	1.84	4.7	KST
09/22/2006	998	203.5	2.80	1.82	4.1	KST
09/23/2006	999	203.6	2.80	1.81	3.9	KST
10/15/2006	1021	205.9	2.65	1.70	9.7	KST
10/16/2006	1022	206.1	2.62	1.70	10.1	KST
01/15/2007	1113	221.4	1.72	1.73	28.9	KST
02/12/2007	1141	230.8	1.36	1.96	27.9	KST
02/19/2007	1148	234.0	1.26	1.91	27.9	KST

t_p : 近日点通過日(Dec. 29, 2003), TA : 真近点離角

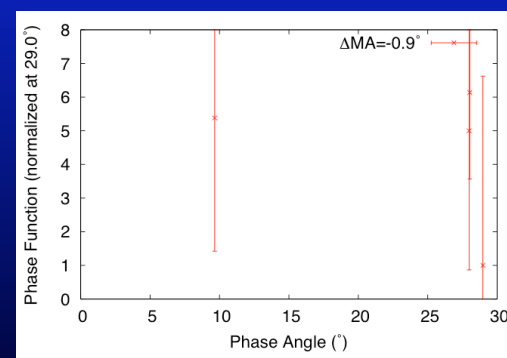
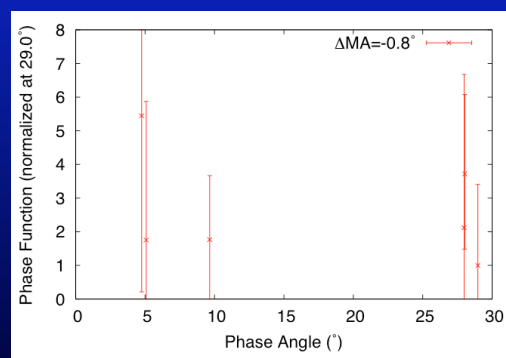
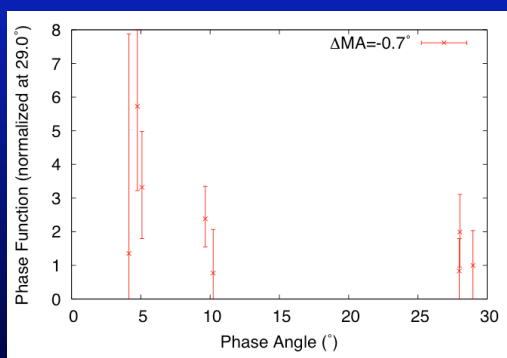
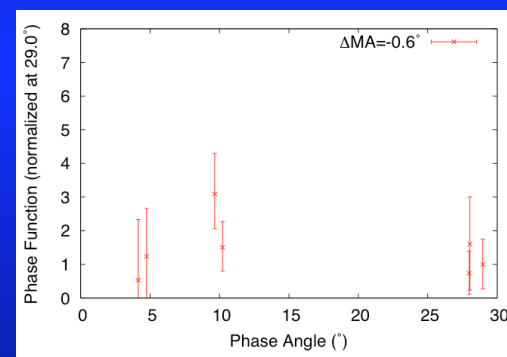
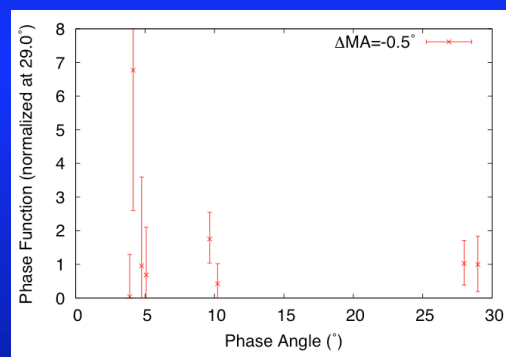
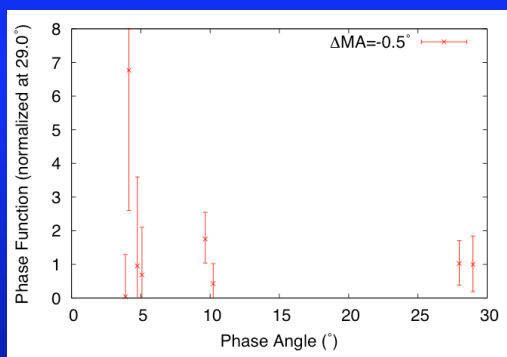
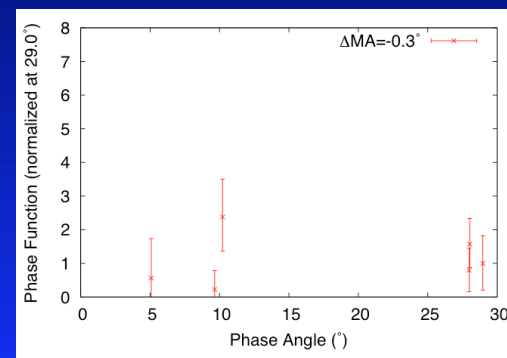
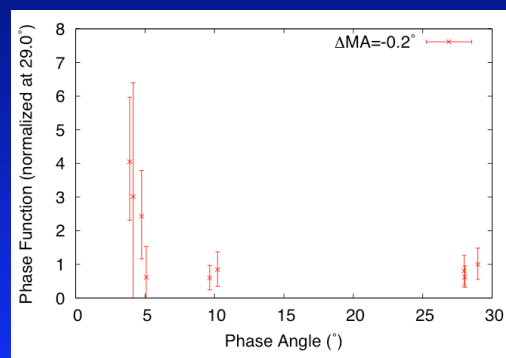
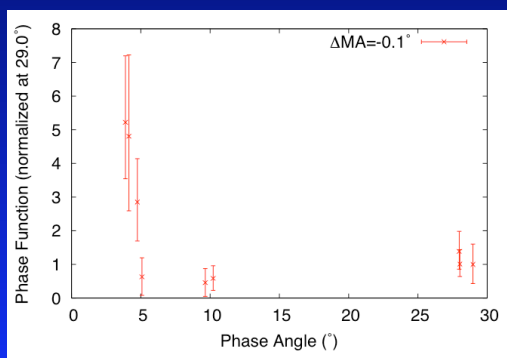
測光



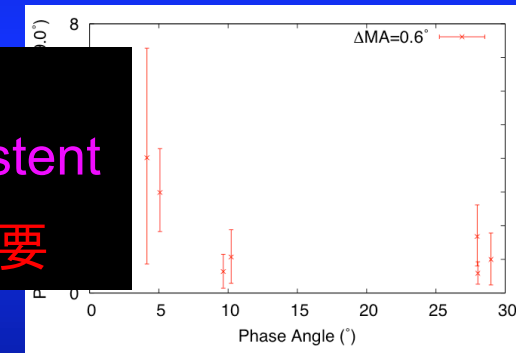
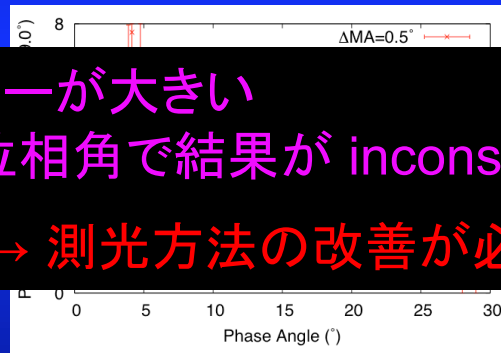
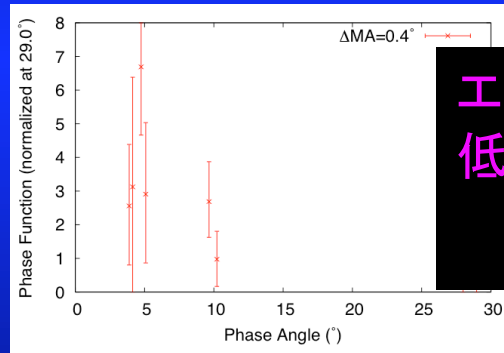
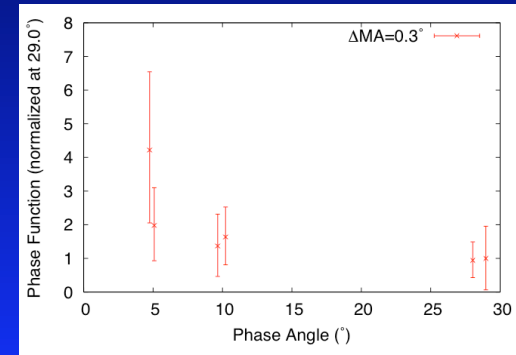
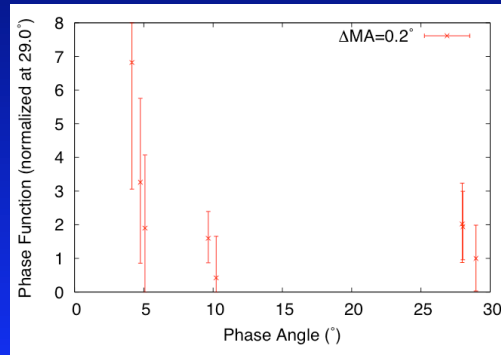
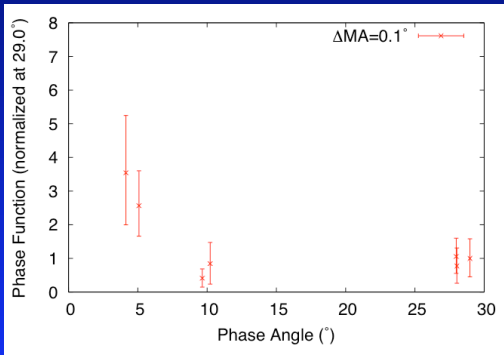
1. トレイルのカットプロファイルを取る
2. ピークからL離れた点をp1, p2とする
3. p1-p2を結んだ線をスカイと仮定したフラックスを求める
4. Lに対するフラックスの変化が頭打ちとなる値をトレイルのフラックスとする
5. 平均近点離角ごとに1-4を実施(スクリプトで一括処理)



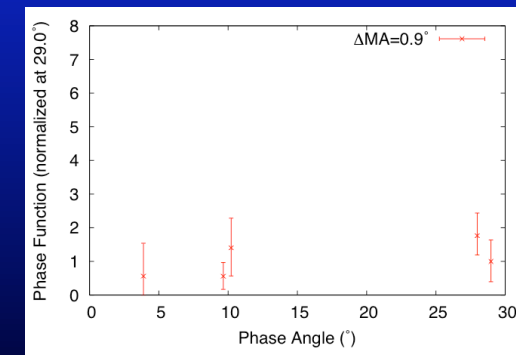
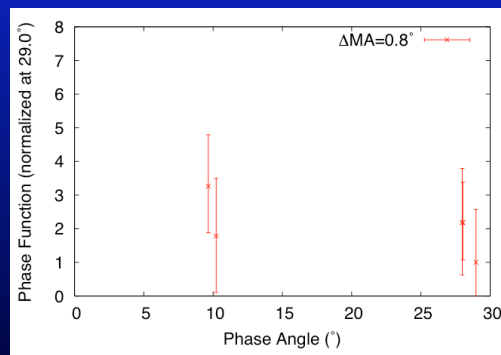
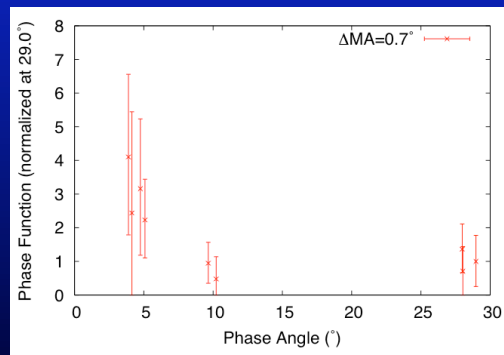
位相関数 (leading side)



位相関数 (trailing side)



エラーが大きい
低位相角で結果が inconsistent
→ 測光方法の改善が必要



まとめ

- ・ トレイル粒子の散乱位相関数を求めるために、2P/Encke彗星を数年に渡って観測
- ・ ダスト放出モデルによって、ダストの空間密度の補正を検討
 - トレイル全体を再現するには至っておらず、限定的な補正しかできない
 - 数ヶ月以内の観測であれば、十分な長さの平均近点離角で積分した明るさを比べればよい
- ・ トレイルの測光はスクリプトで一括処理
- ・ 現状の測光方法ではエラーが大きく、使えない
- ・ 測光方法の改善が必要