

DESTINY+搭載用ダストアナライザ

○小林 正規¹、荒井 朋子¹、木村 宏¹、シュラム・ラルフ²、クリューガ・ハラルド³

¹千葉工業大学、²シュトゥットガルト大学、³マックスプランク太陽系研究所

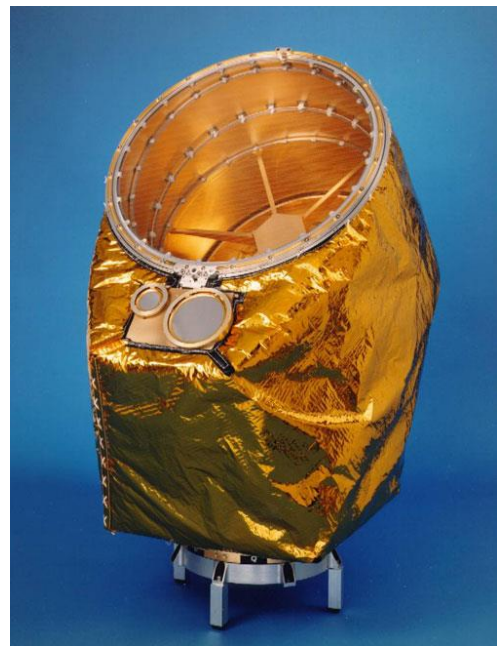
ABSTRACT

DESTINY+に搭載されるDESTINY+ Dust Analyzer (DDA)は、DESTINY+が地球を離れて小惑星フェートンへ到達するまでのクルージングフェーズと、フェートンを近接フライバイするタイミングで科学観測を行う。クルージング中は、星間ダストおよび惑星間ダストを観測する絶好の機会である。本講演では、DESTINY+に搭載されるDDAについて概要と現在行っている概念検討の内容について述べる。

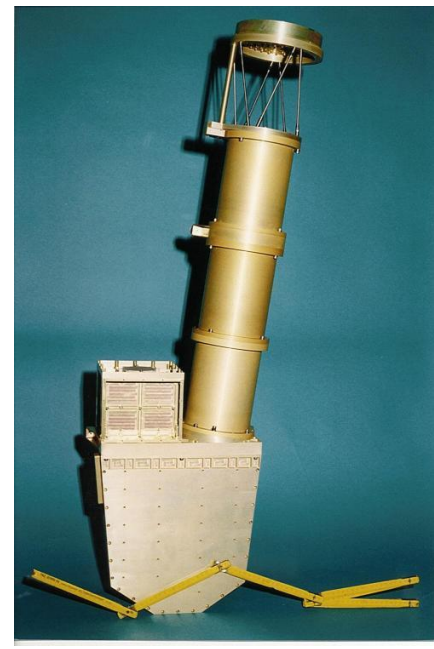
Dust Analyzerとは

これまでの観測

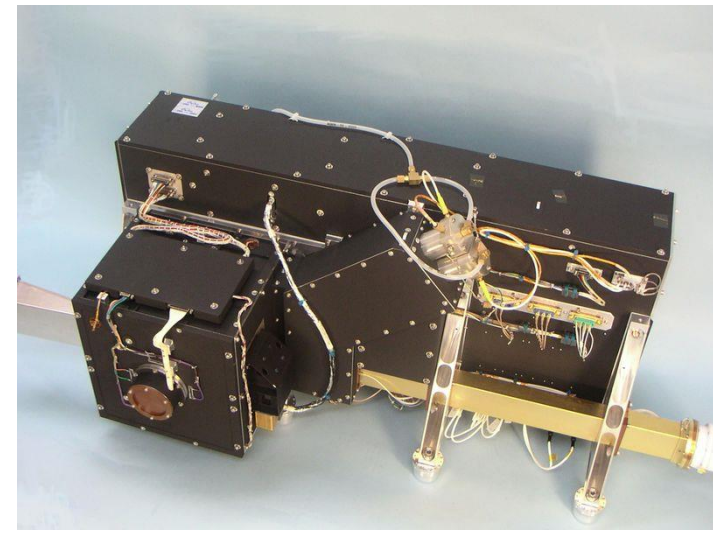
- 宇宙空間において、その場でダストの組成を分析する装置。
- これまで実用化されているのはおおきく分けて2種類ある。
 - 衝突電離型
 - 二次イオン質量分析型



Cassiniに搭載されたCosmic Dust Analyzer (CDA)



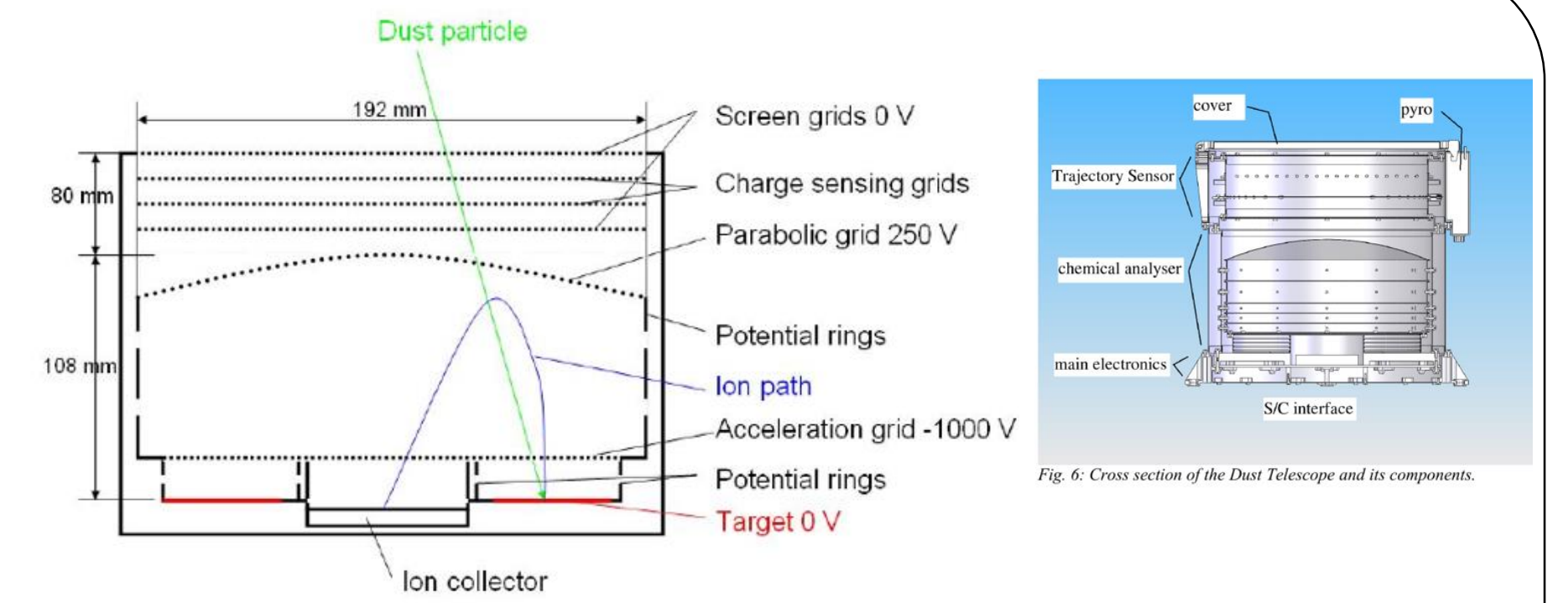
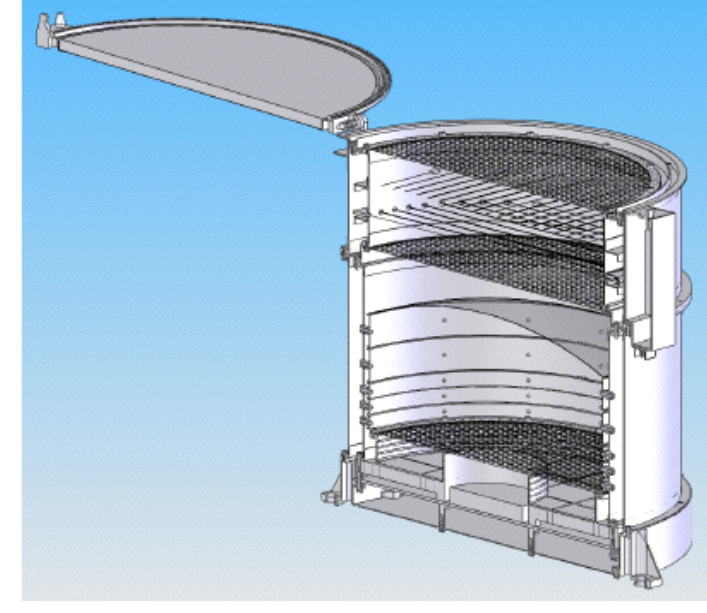
Halley彗星探査用のVegaやStardustに搭載されたCometary and Interstellar Dust Analyzer (CIDA)



Rosettaに搭載されたCometary Secondary Ion Mass Analyzer (COSIMA)

- 衝突電離型は、衝突板に高速衝突したダストが昇華したプラズマをTOF-MSの原理で分析する。(CDA, CIDA)
- 二次イオン質量分析型は、イオンビームなどで捕集したダストサンプルを励起してプラズマを発生させてTOF-MSの原理で分析する。宇宙空間において、その場でダストの組成を分析する装置。(COSIMA)
- DESTINY+では、星間ダストや惑星間ダスト、高速フライバイによるダストのその場分析が目的なので、衝突電離型が適している。

DESTINY+ Dust Analyzer

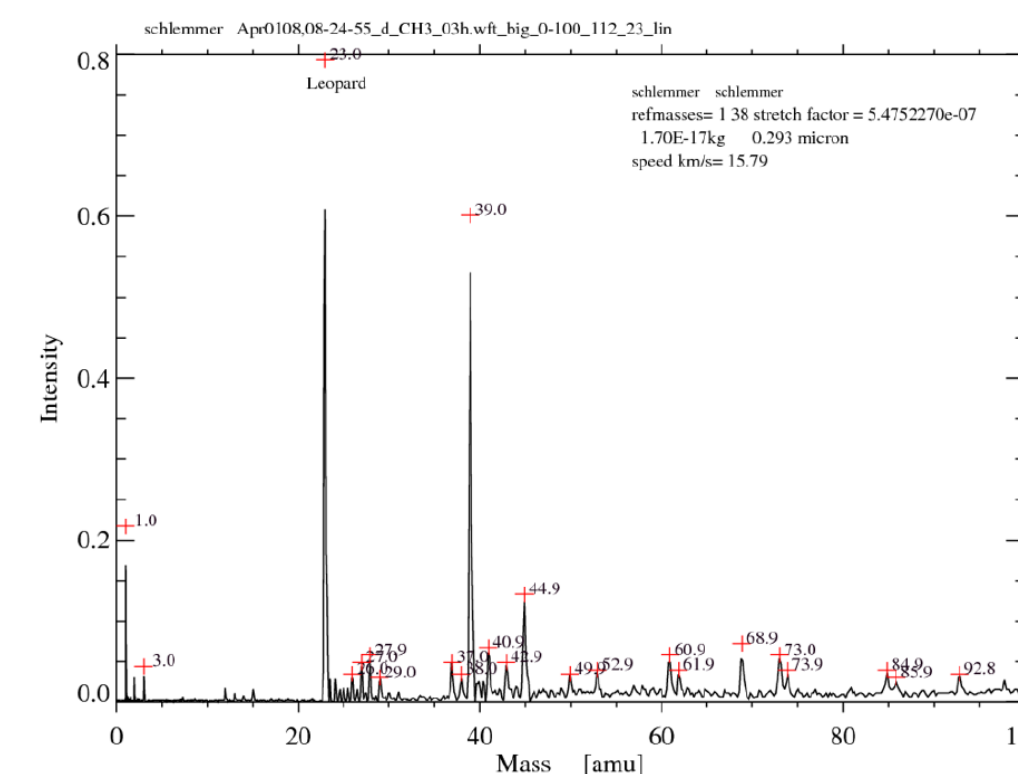


- ドイツ・シュトゥットガルト大学のチーム (Dr. Ralf Srama, CDAのPI) が開発、Europa ClipperのSUDAと同じコンセプト
- **クルージング中の星間ダスト、惑星間ダスト観測** および**フェートン周辺ダスト観測**に利用
- CDAヘリテージを基に要素技術は、すでに確立
- 開発費はドイツ側で負担

- DDAでは、CDAIに比べてTOFのパスを長くすることで質量分解能は>150に向上 (CDAでは、M/ΔM=20-50)
- また、CDAIに比べてセンサーヘッド全体の容積を小さく、質量分析が可能な検出面積を大きくした。
- 質量分析機能だけでなく、ダストの到来方向を同定するTrajectory Sensorも上部に備えている。



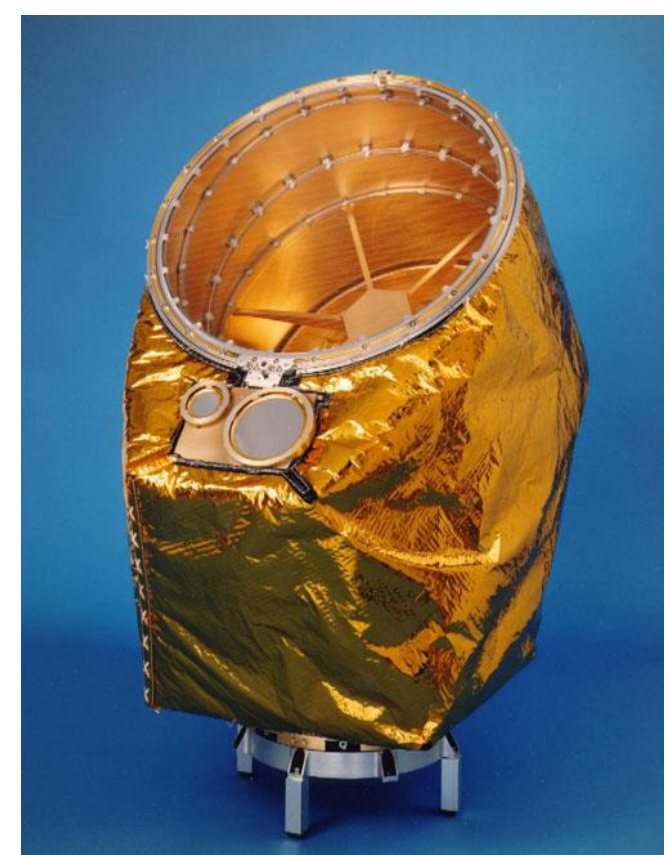
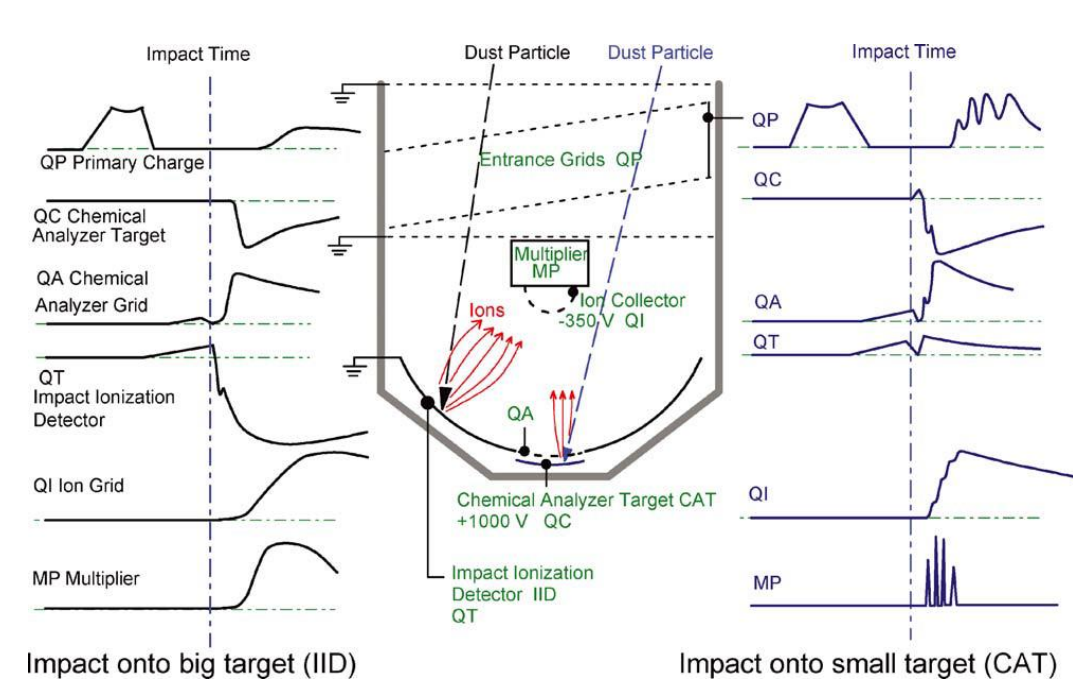
DDAのLabモデル



DDAのLabモデルによる実験データ

DDAの諸元	
Parameters	Value
Dust parameters	Mass, speed, charge, flux, composition
Grain mass range	10e-16 g to 10e-6 g
Grain speed range	5 to 100 km/s
Accuracies (direction, v)	<10°, <10%
ToF mass resolution	M/dM >150
Instrument Mass	3.5 kg (including margin)
Power	14.2 W (peak), <9 W (idle)
FOV 45°	half cone
Decontamination heater	yes (5 W)

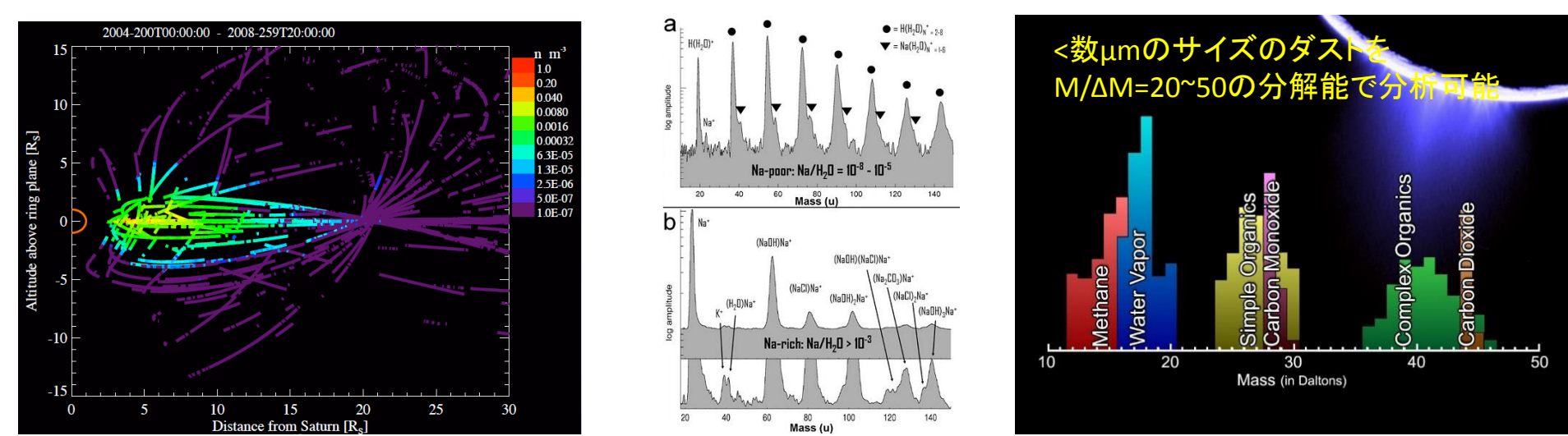
測定原理: CDAの例



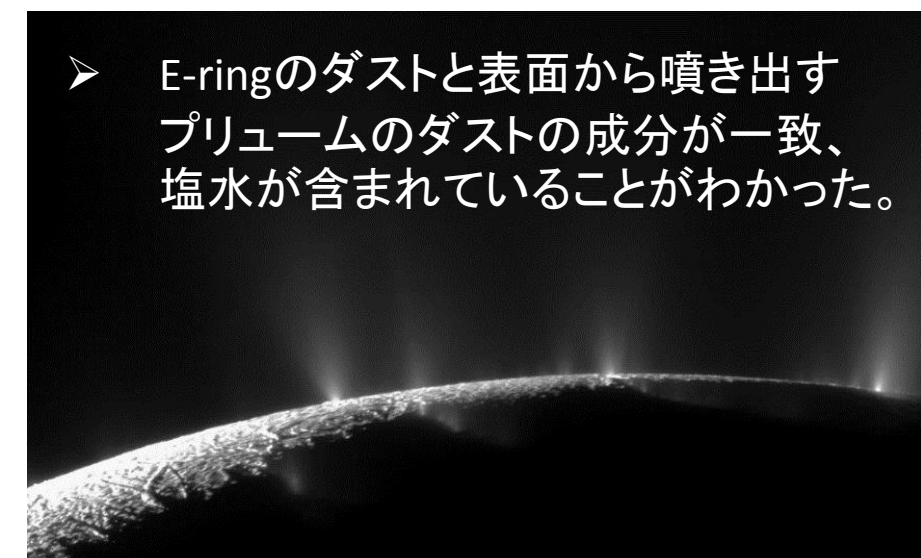
カッシーニに搭載されたダストアナライザ CDA

- 数μm以下のダストが>2km/sの速度で衝突したときに生成されたプラズマをTOF-MS法で質量分析

CassiniによるEnceladusフライバイダスト観測



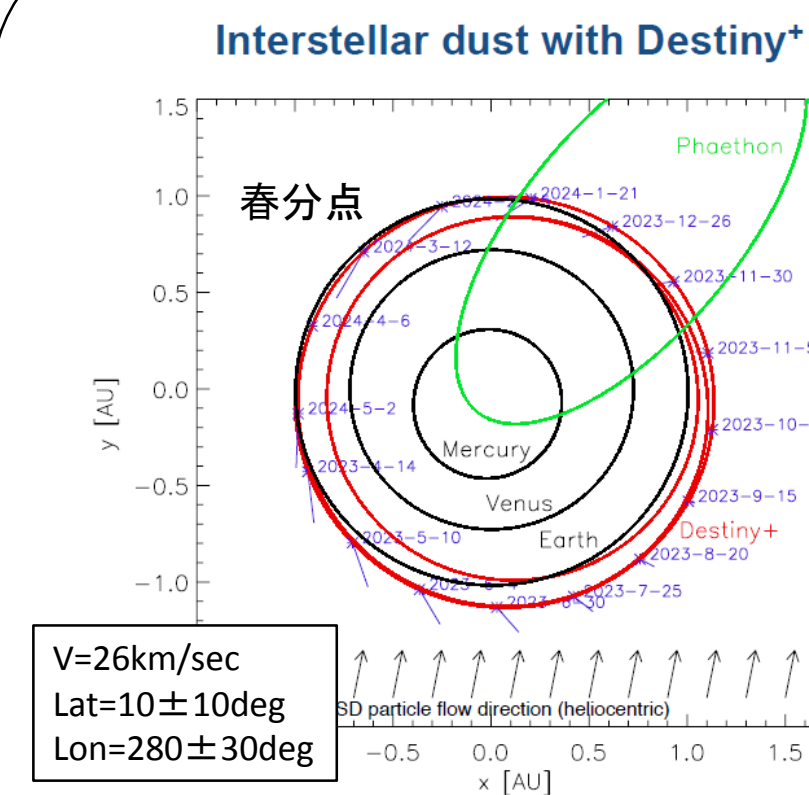
SATURN'S E RING & Enceladus Plume



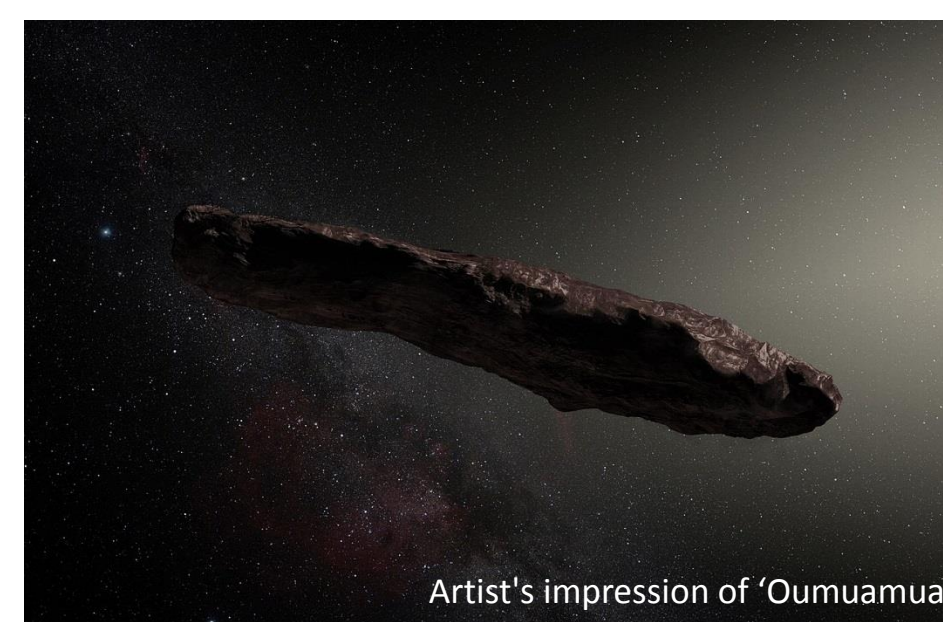
- E-ringのダストと表面から噴き出すプルームのダストの成分が一致、塩水が含まれていることがわかった。
- NASAのEuropa Clipperにも同様のダストアナライザ-SUDAが搭載される予定になっていて、氷衛星から噴き出すプルームを分析する計画になっている。

観測ターゲット

星間ダスト

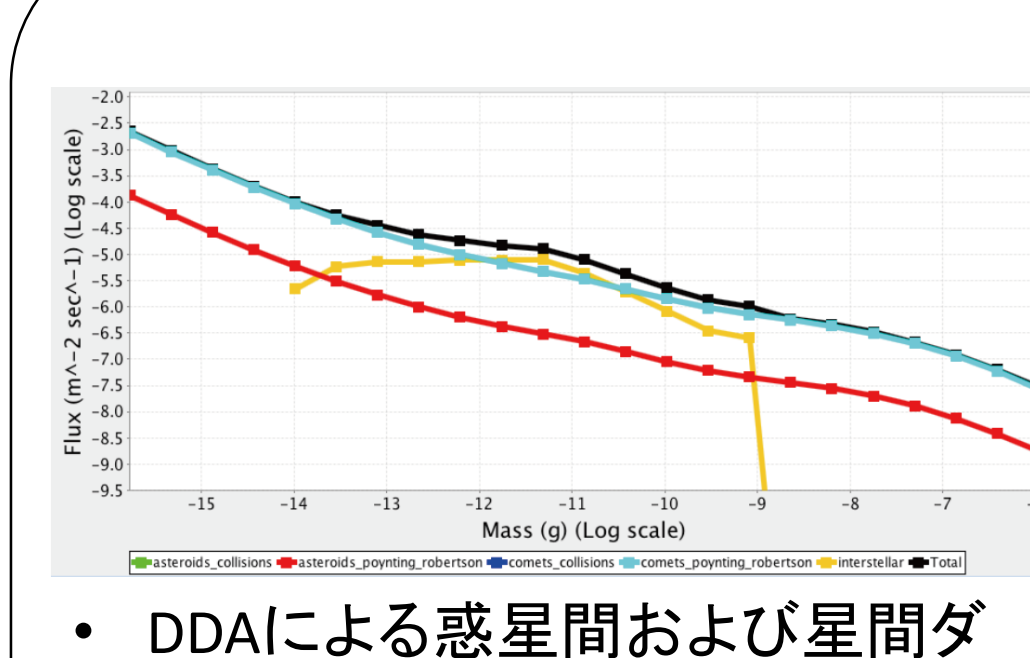


- 軌道要素で系外からのダストとこれを特定する
- 観測に適した時期は、春分点を挟んだ半年間(1月から6月)。→ 地球の進行方向と、星間ダストの相対速度が大きい。(26km/s < v < 60km/s)。つまり、衝突型のダストアナライザの感度は大きくなる。逆に、秋分点側だと、相対速度が小さくなって、感度が小さくなる。
- 観測装置にジンバルをつけて、常に星間ダストの上流方向に向ける必要あり。



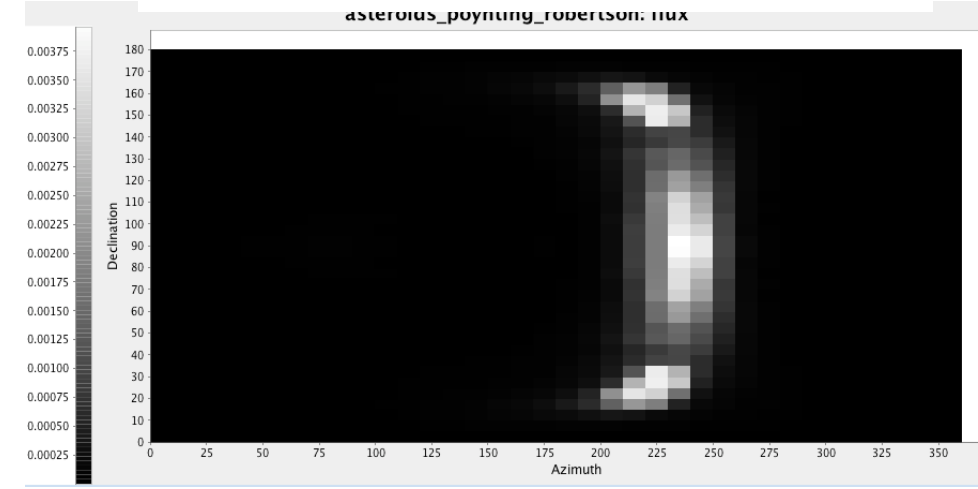
系外からの流入物質について調べる。特に有機物の有無など。

惑星間ダスト

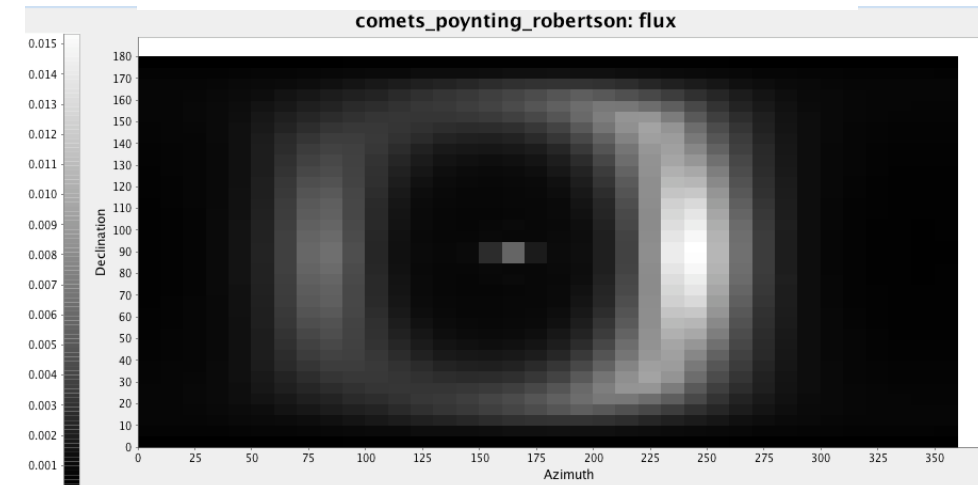


- DDAによる惑星間および星間ダストのフラックス予想 (IMEMモデル (Dikarev et al. 2005) による)
- 個々のダストの軌道と元素組成を調べて、起源の推測につなげる

Asteroid起源とされるダスト



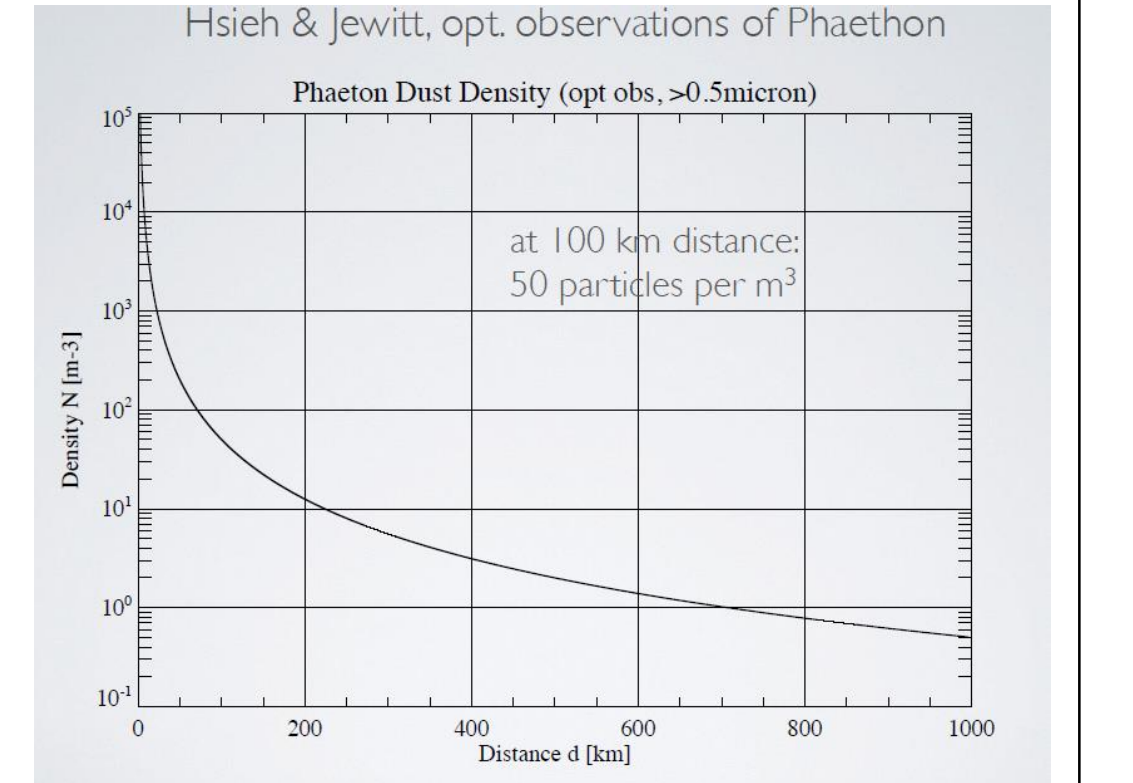
Comet起源とされるダスト



- 中心がDESTINY+の進行方向としたダストの到来方向マッピング
- 到来方向と速度から個々のダストの軌道要素を決定することが可能

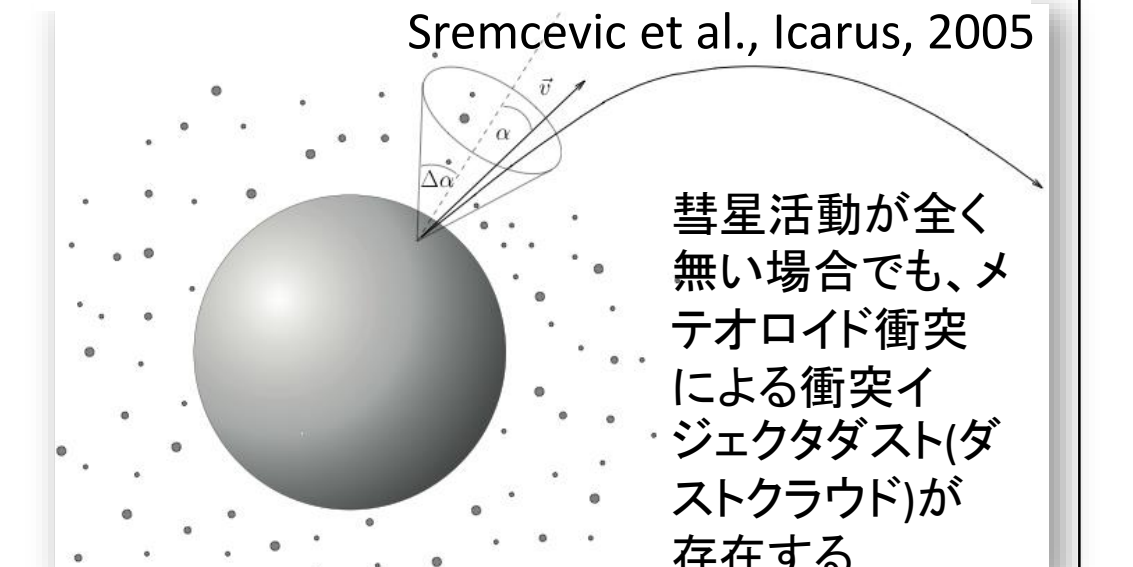
Phaethon近傍ダスト

Phaethon周辺の彗星活動によるダストの推測



- Hsieh & Jewitt (2005): ダスト生成率上限値: 1.6 ~ 1.39AUの領域で 0.01 kg/sと推測。これは8e12 個/sec (サイズ0.5μm、密度 2500kg/m³)に相当する。
- 天体表面から脱出速度2.6m/sで打ち上ると仮定すると、周辺の空間数密度N[m⁻³]は距離d [m]の関数として表されてN= 5e11 / d² [m³]となる。

もし、彗星活動が全く無かったとしても...



Sremcevic et al., Icarus, 2005

Phaethonへの接近距離と予想観測個数

Phaethonへの最近距離 L _{min} [km]	c [counts]	
	u0=20m/s, v=1.2	u0=50m/s, v=1.7
3	179.81	2792.54
5	118.77	1862.66
10	66.17	1049.94
30	25.01	402.62
50	15.66	253.36
100	8.19	133.24
300	2.87	46.89
500	1.75	28.63
700	1.26	20.64
1000	0.89	14.57
1500	0.60	9.79
2000	0.45	7.37

ただし、Phaethon表面の状態によって、インパクトジェッタのフラックス、速度が変わる

星間ダスト、惑星間ダストの観測個数予想 (IMEMによる)

	平均フラックス (m ⁻² s ⁻¹)	600日のフルエンス (m ⁻²)※	600日の観測ダスト個数※
惑星間ダスト	5.1x10 ⁻³	5.3x10 ⁵	600~1000
星間ダスト	6.3x10 ⁻⁵	6.5x10 ³	~72***

※ 2年間のクルージング中、8割の稼働率(軌道上運用制約を考慮)
 ※ ※検出面積0.022m²、FOV 45° のDDA
 ※ ※ ※β=1と仮定、小さいダストはβが大きいため太陽輻射に影響されるためこの値は違ってくる

まとめ

現在、探査機システムとのI/Fを踏まえてフェーズAの検討中。もし、リソースが許せば、センサーヘッドを2台にしてTOF-MSのAnionモード、Cationモードでそれぞれ運用することもありうる