

# Development and Cruising Science of the PVDF-based in-situ dust sensor for the next solar power sail

(ソーラー電力セイル搭載用 PVDF ダストセンサの  
開発とクルージングサイエンス)

Takayuki Hirai<sup>1</sup>, Hajime Yano<sup>2</sup>

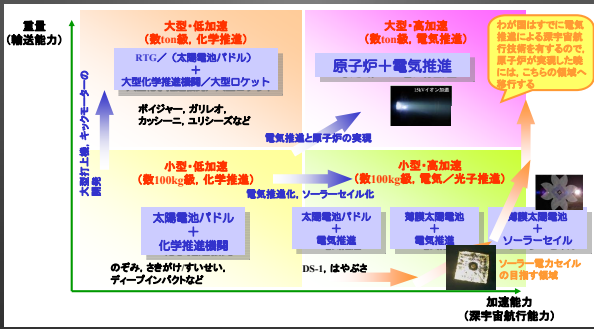
<sup>1</sup>Research and Development Directorate (RDD), Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)  
7-44-1 Higashimachi, Jindaiji, Chofu, Tokyo, 182-8522, Japan

<sup>2</sup>Institute of Space and Astronautical Science (ISAS), Japan Aerospace Exploration Agency  
(JAXA) 3-1-1 Yoshinodai, Sagami-hara, Chuo-ku, Kanagawa, 252-5210, Japan

## ABSTRACT

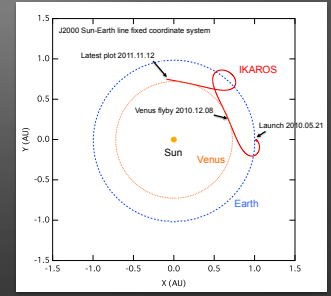
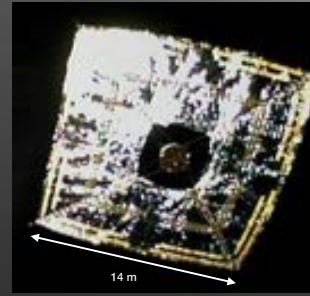
The Arrayed Large-Area Dust Detector in INterplanetary Space (ALADDIN) onboard the JAXA's solar sail demonstrator, IKAROS, observed the distribution of >10-micron-sized dust particles between 0.7—1 AU with higher time-space precision than the past dust detectors, utilizing its light weight and large area characteristics of PVDF-film sensor. For the next solar power sail mission bound for the Jupiter-Trojan system, we are developing the ALADDIN-2 to reveal the distribution of large dust particles at 1—5.2 AU which provides reference data about the formation and evolution of dust disks observed in the exo-solar systems. In this presentation, we review the results from IKAROS-ALADDIN observation and explain the expected cruising science by the ALADDIN-2.

## ソーラー電力セル



原子力に依存せず太陽系外惑星領域を探査する能力を獲得する。

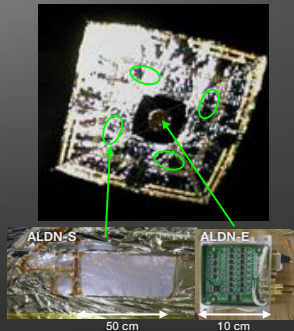
## 技術実証機 IKAROS



地球-金星軌道間でソーラー電力セル技術を実証。2015年7月現在も航行中。

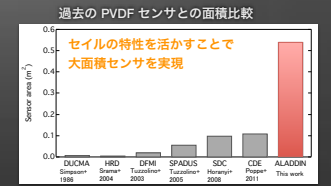
## PVDF ダストセンサ: ALADDIN

- Arrayed Large-Area Dust Detectors in Interplanetary space
- PVDF フィルム圧電センサ
- センサ面積: 0.54 m<sup>2</sup>
- 重量: センサ 37 g, エレキ 280 g
- 消費電力: 1 W
- 検出ダストサイズ: 直径 5-26 μm (センサ温度に依存)



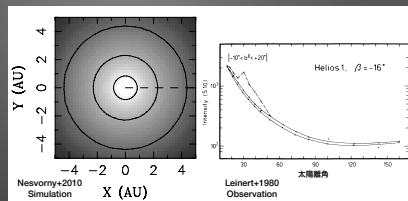
## PVDF ダストセンサ: ALADDIN

- 大面積センサにより直径 10 μm 以上の大径ダストの分布を観測可能  
-> 散乱光・赤外放射光を捉える光学観測と同じサイズレンジの直接観測が可能に。  
衝突検出: 局所分布・線の観測  
光学観測: 広域分布・面の観測
- 木星圏探査センサでは、赤外線望遠鏡 EXZIT との同時観測を計画。

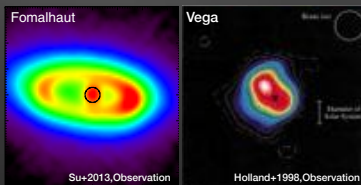


## 惑星間ダスト分布

太陽系のダスト分布を知ることで

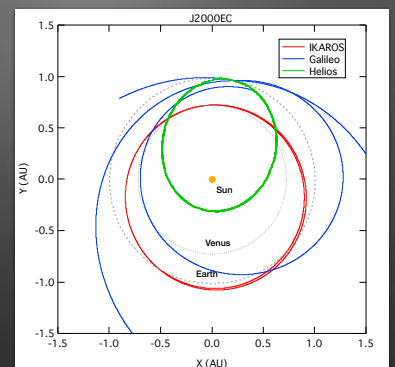


ダスト円盤内に隠された系外惑星を知る

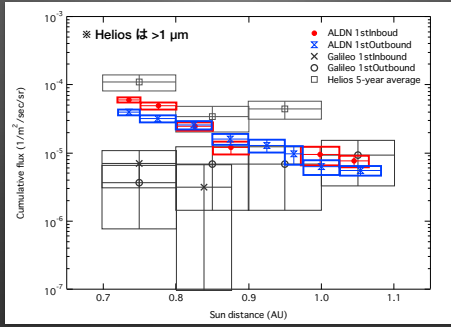


## 惑星間ダスト分布

- IKAROS/ALADDIN  
0.72-1.1 AU  
0.54 m<sup>2</sup>
- Galileo/DDS  
0.7-5.2 AU  
0.1 m<sup>2</sup>
- Helios  
0.3-1 AU  
0.012 m<sup>2</sup>

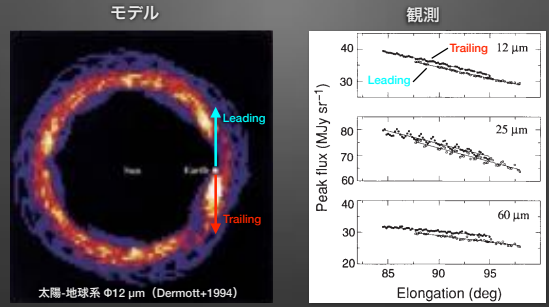


## 惑星間ダスト分布



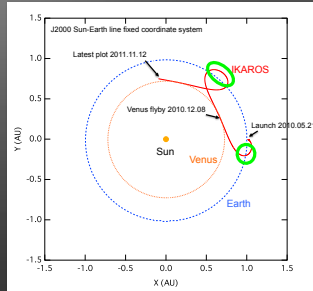
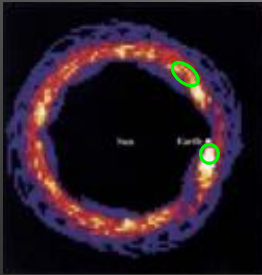
過去の同領域における観測結果よりも高い精度で 10 μm ダストの分布を観測。

## 平均運動共鳴による非対称構造



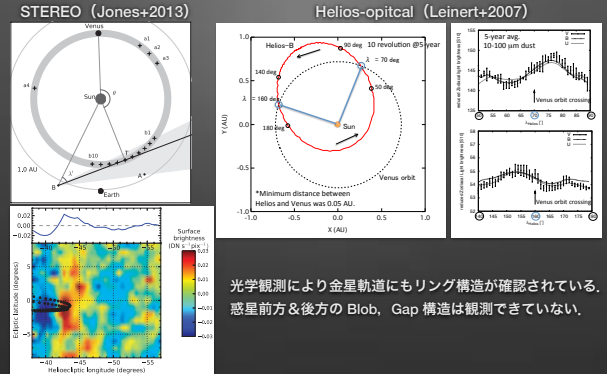
ダストが惑星との平均運動共鳴に捕獲されることで Ring&Blob 構造を形成。太陽系で形成メカニズムを調べ、系外ダスト円盤内に隠れた惑星の化学特性を知る。

## 平均運動共鳴による非対称構造



IKAROS は地球軌道の構造内を 2 度通過。-> 現時点では顕著なフラックス増加は確認できず。

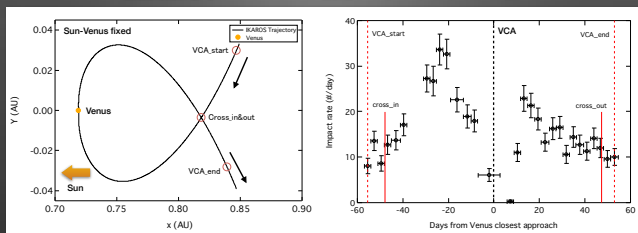
## 平均運動共鳴による非対称構造@金星



光学観測により金星軌道にもリング構造が確認されている。惑星前方&後方の Blob, Gap 構造は観測できていない。

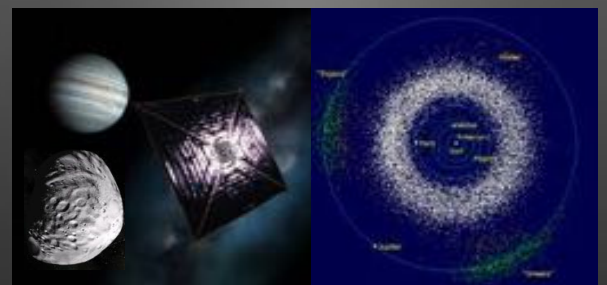
## 平均運動共鳴による非対称構造@金星

金星最接近時に ALADDIN が観測したダストフラックス。



最接近前後でフラックスの増加、かつ後の方が高いことを確認。-> 地球での観測+モデルと調和的。

## 木星圏探索ソーラー電力セル



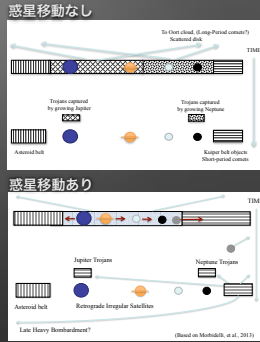
# 木星圏探査ソーラー電力セイル

## 木星トロヤ群探査のサイエンス

- 太陽系形成論
- ガス惑星移動はあったのか?
- Grand tack 仮説, Nice モデルの検証.

### トロヤ群小惑星

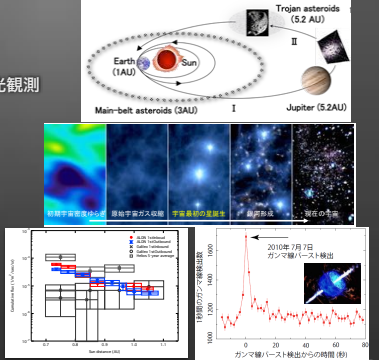
- = メインベルト小惑星に近い
- > 惑星移動はなかった
- = 彗星に近い
- > 惑星移動はあった



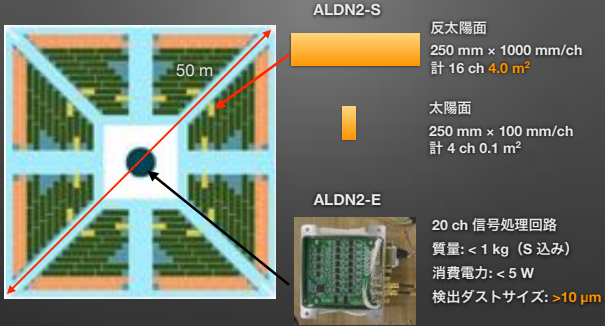
# 木星圏探査ソーラー電力セイル

## クルージングサイエンス

- 宇宙赤外線背景放射 + 黄道光観測
- ガンマ線バースト偏光観測
- ダストフラックス観測
- 小惑星帯フライバイ観測



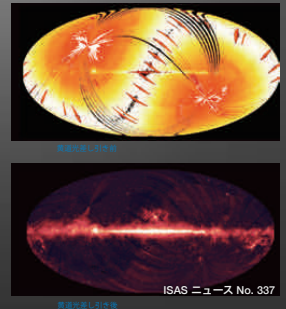
# ALADDIN-2



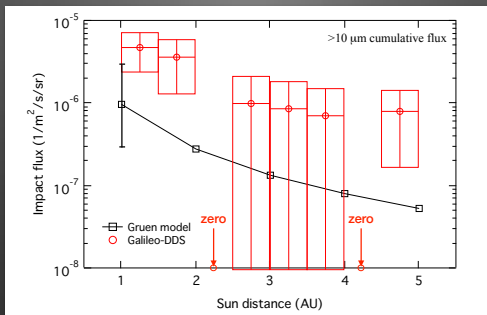
# ALADDIN-2

## EXZIT との黄道光同時観測

- 赤外背景放射を精度良く観測するには、黄道光成分を正しく排除する必要。
- 同じサイズレンジ (10-100 μm) で光学+その場ダスト観測を行うことで、従来よりも正確な分布がわかる。



# 惑星間ダスト分布@1-5.2 AU

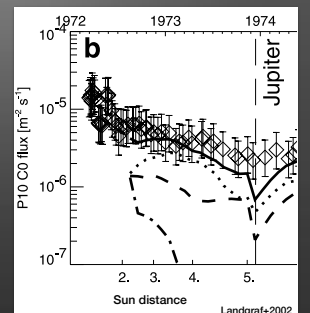


観測・モデルともにフラックスの 1σ エラーはファクター 1.5~3.

# 惑星間ダスト分布@1-5.2 AU

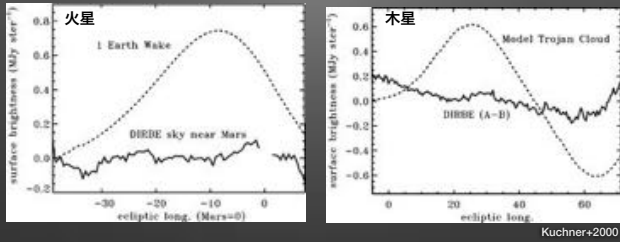
## Pioneer10 による >10 μm ダスト分布のその場観測

- センサ面積: 0.573 m²
- フラックス 1σ エラー: ファクター 2
- Pioneer10 での検出数を, ALADDIN-2 とのセンサ面積比で補正すると, ALADDIN-2 では同観測時間・領域でフラックスエラーがファクター 1.2 まで減少.



## 平均運動共鳴@火星&木星

COBE/DIRBE による赤外観測



火星、木星ともに平均運動共鳴による局所構造は発見されていない。  
黄道ダスト分布モデルの精度を上げる=正しくバックグラウンドを引くことで  
観測できる可能性あり。

20

## まとめ

- ・ IKAROS/ALADDIN では、大面積 PVDF ダストセンサを惑星間で実証し、0.7-1 AU における  $\sim 10 \mu\text{m}$  ダストの分布を高精度で観測した。
- ・ 木星圏探査セイル/ALADDIN-2 では、1-5.2 AU における  $10 \mu\text{m}$  ダストの分布を高精度で観測し、系外惑星系の描像を理解するためのリファレンスデータを得る。

21