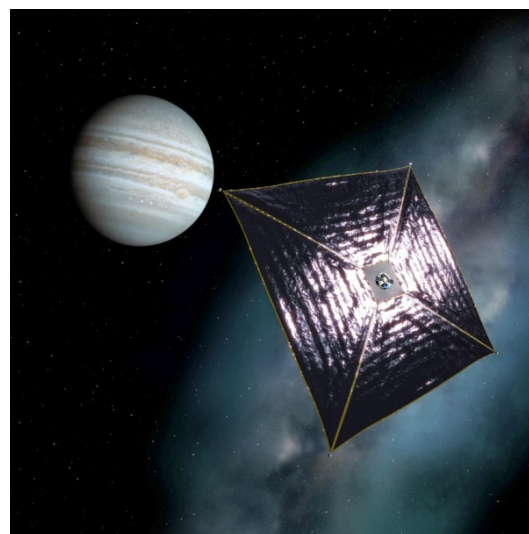


# ソーラー電力セイル探査機による トロヤ群小惑星探査および深宇宙空間観測



中村良介(AIST)

松浦周二, 矢野創, 森治, 津田雄一(JAXA)

吉田二美, 高遠 徳尚, 小久保 英一郎(NAOJ)

船瀬龍, 関根康人(UoT)

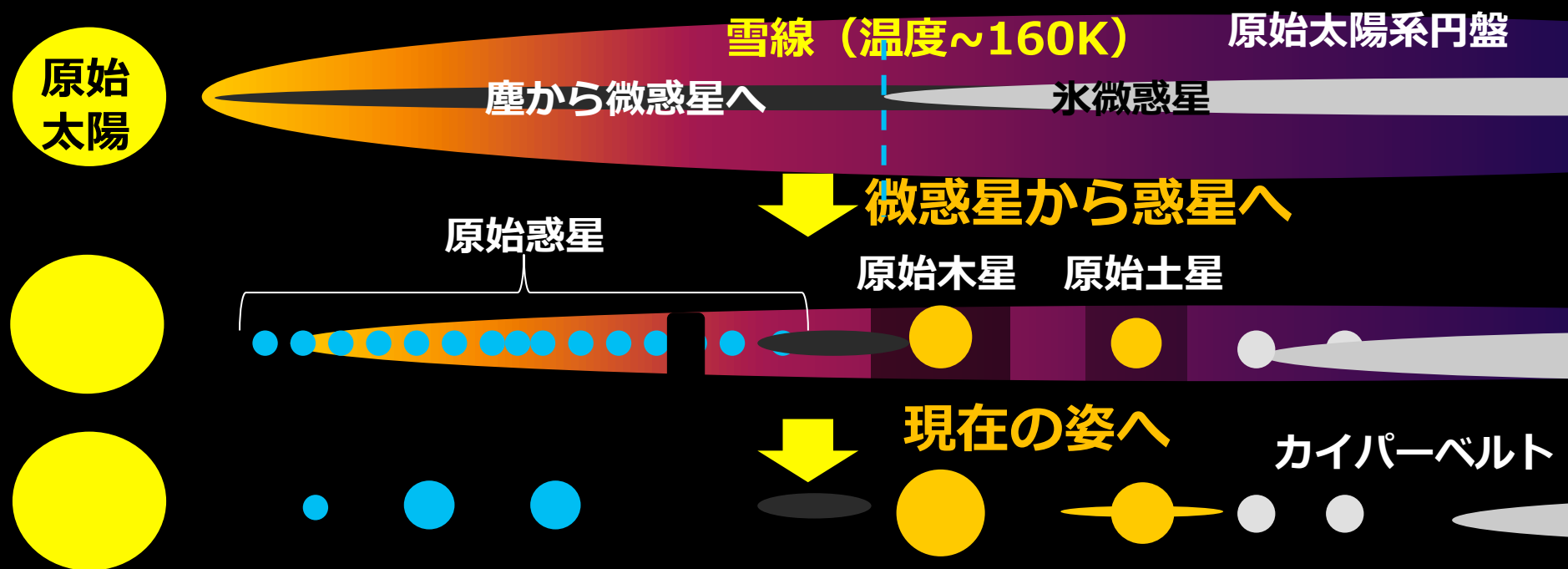
木下大輔(NCU), 青木順(Osaka Univ.)

パトリック リカフィカ(Kinki Univ.)

# 科学目標

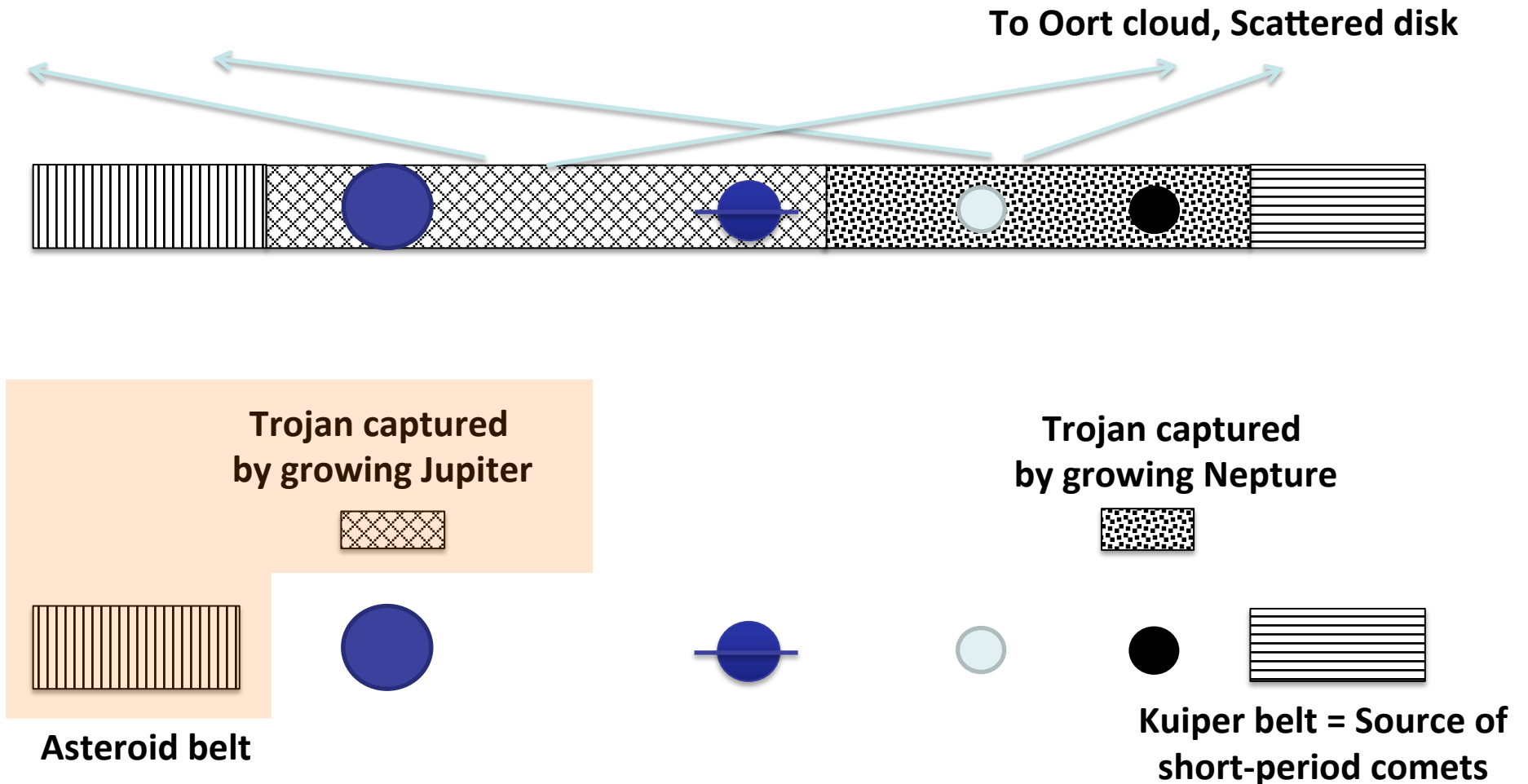
- 木星トロヤ群の形成過程を調べることで原始太陽系円盤内の揮発性物質分布および惑星移動プロセスに重要な制約を与える(ノミナル)
- クルージングフェーズで宇宙赤外線背景放射およびガンマ線バーストの観測を行い、宇宙初期に形成された第一世代の星や超新星爆発に関する新たな知見を得る(ノミナル)
- クルージングフェーズで小惑星／木星のフライバイ観測、およびカイパーベルト起源ダストの組成分析を行う(オプション)

# 形成論：太陽系形成の古典的シナリオ



- ・惑星がいまある場所～形成場所
- ・我々の太陽系が惑星系一般のテンプレート

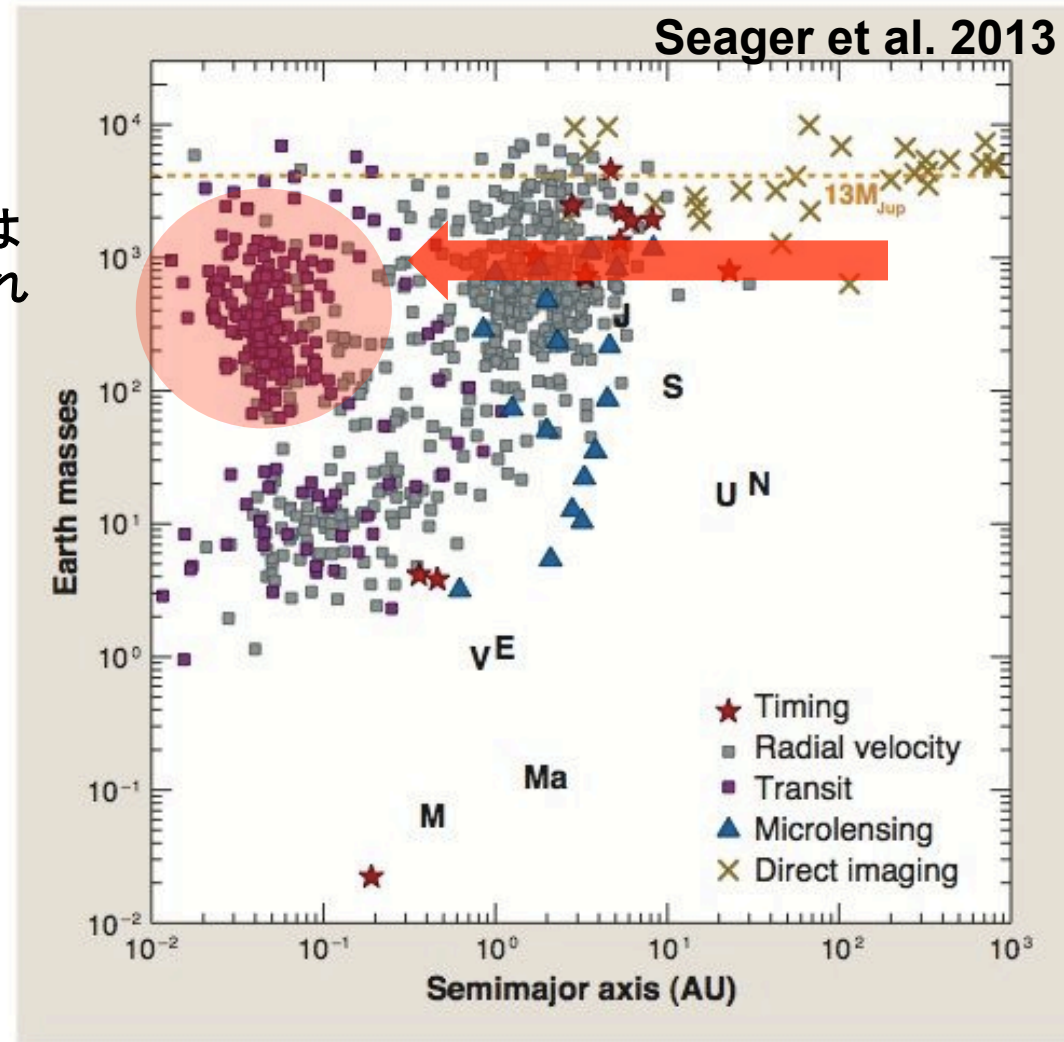
# シナリオA: トロヤ群形成の古典モデル



トロヤ群天体は木星軌道付近に存在していた微惑星  
～内側の**小惑星帯の延長**

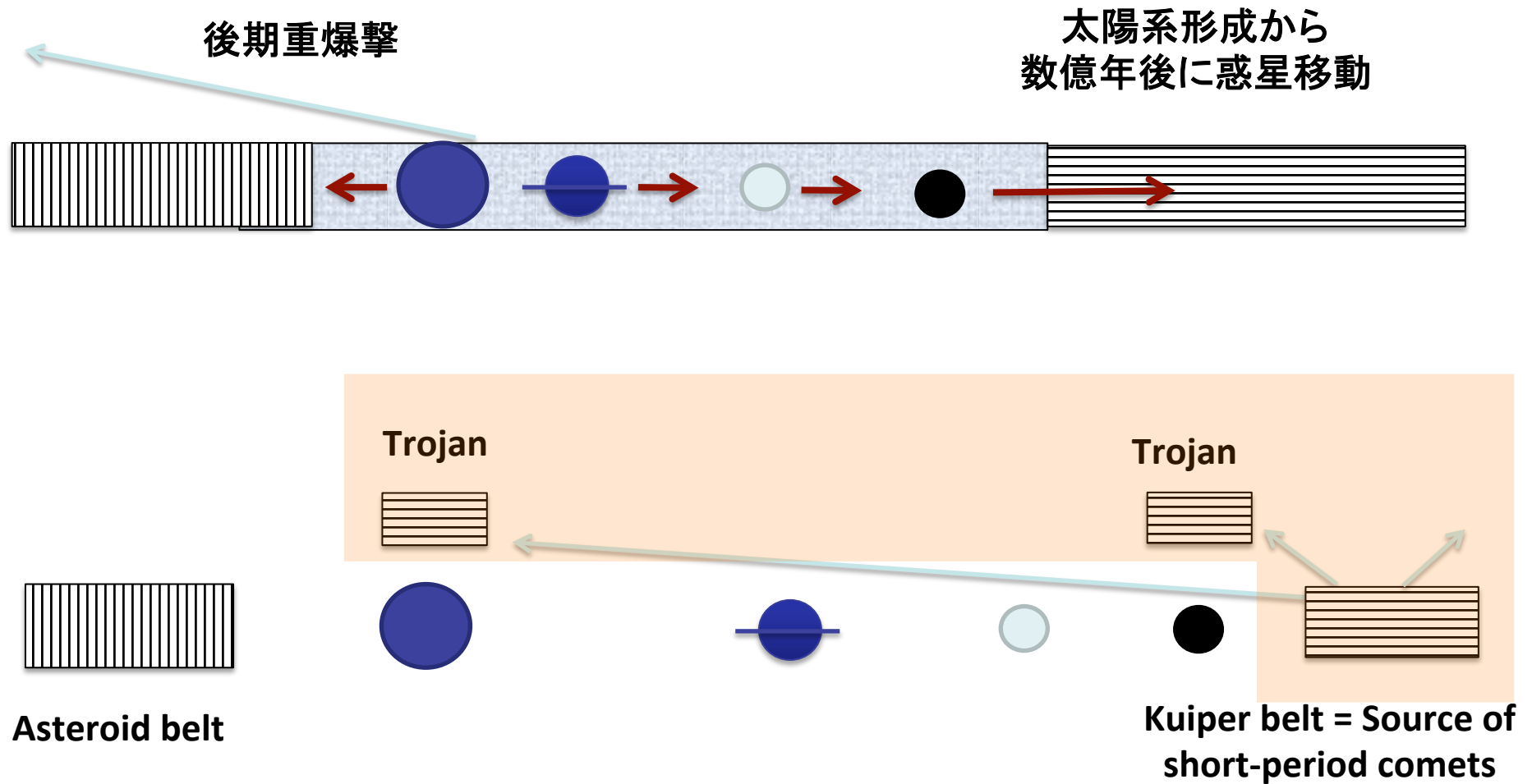
# 惑星移動の生み出す多様な惑星系の姿

Hot Jupiterは  
遠方で形成され  
内部へ移動



我々の太陽系でも惑星移動が起ったのではないかな？

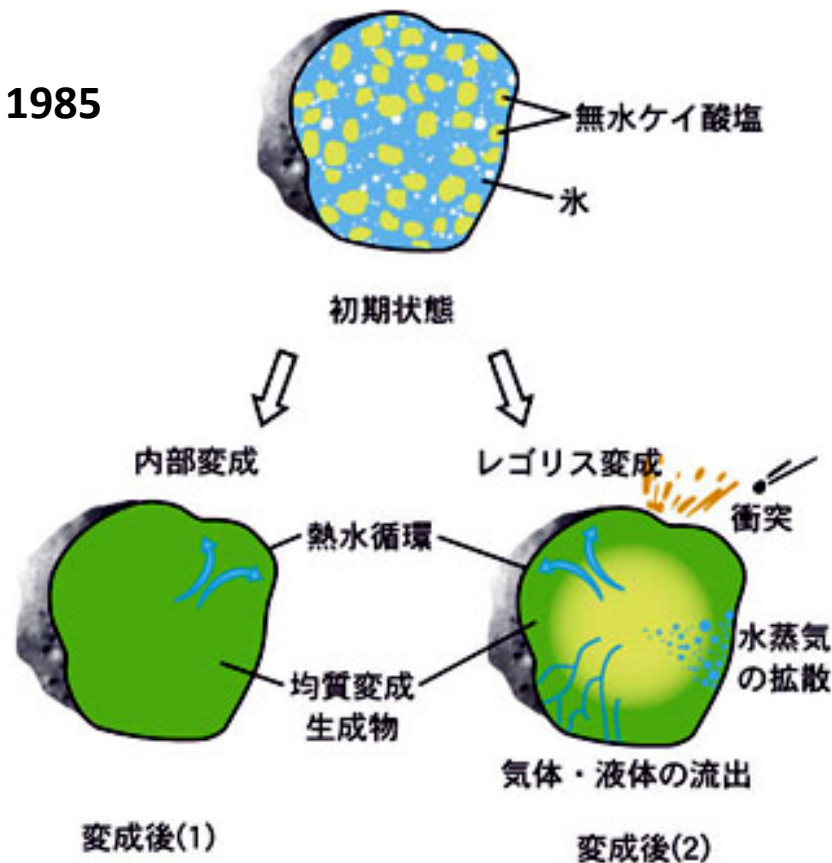
# シナリオB: ニース惑星移動モデル



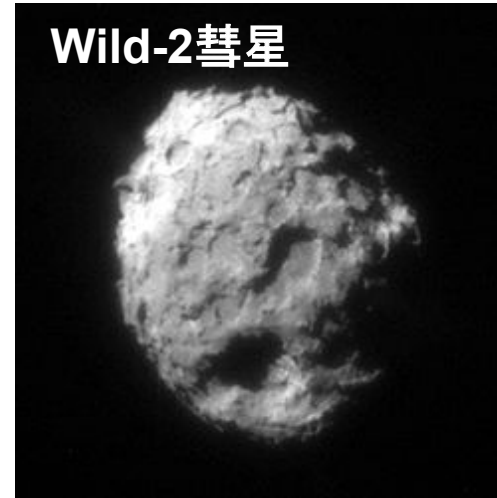
トロヤ群は彗星と同じ起源を持つ

# 彗星・小惑星の違いは形成場所だけでなく 熱史(氷が溶融したかどうか)にも依存

Takeda 1985



Wild-2彗星



小惑星Mathilde



液体の水と無水ケイ酸塩鉱物／有機物の反応  
→含水鉱物の生成、同位体均一化

# 1. 惑星形成論

系外惑星系ではガス惑星の移動によってホットジュピターなどが形成。  
ガス惑星移動は、惑星系形成の一般的なプロセスであり、我々の太陽系も例外ではない？

## 2. 物質科学

トロヤ群小惑星は、水質変成を受けた小惑星／受けていない彗星の  
どちらに近いのか？ あるいはどちらとも違うのか？

人類がいまだ対応するサンプルをまったく持っていない可能性

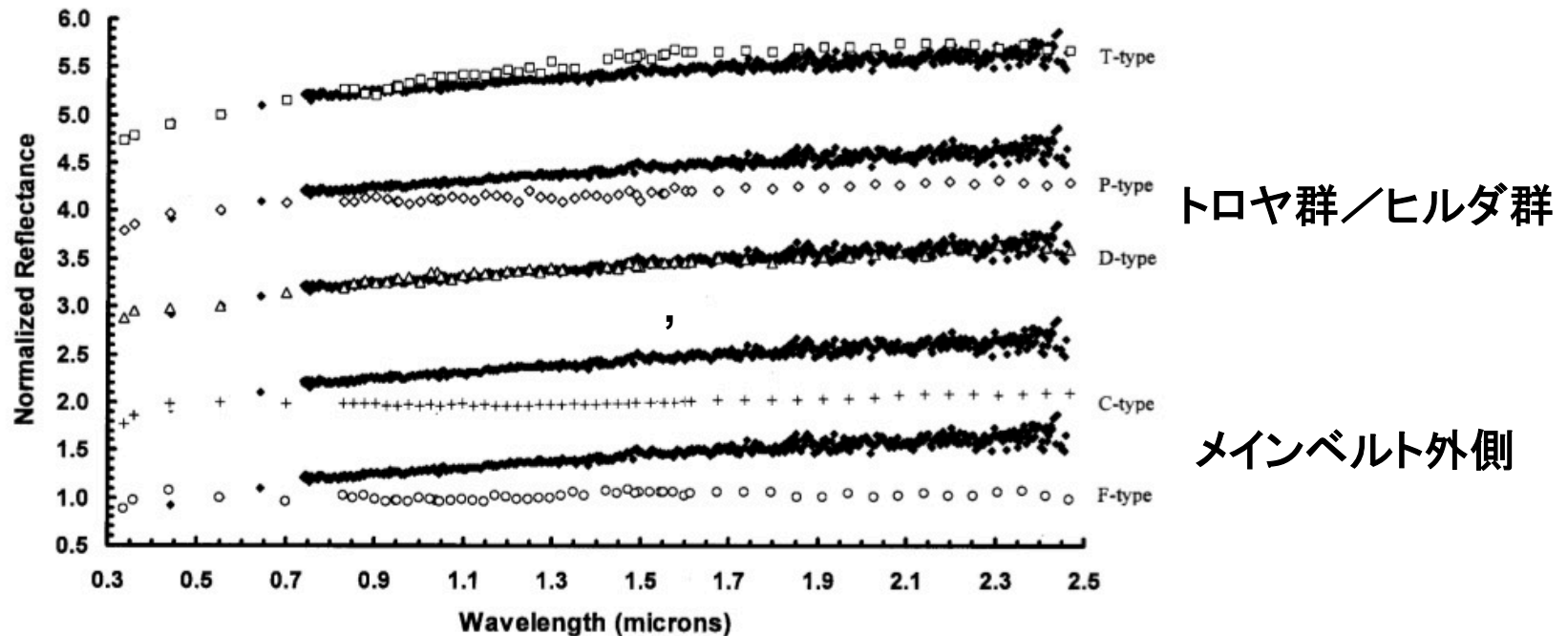
なぜ太陽系が今の姿になった？  
初期太陽系の物質進化・混合？  
実証的証拠の不足 → 探査による解明

# 科学目標を実現するための観測・運用要求

- 種々の氷・含水鉱物・有機物が特徴的な吸収を持つ赤外域(とくに2500~5000 nmの波長域)で、天体サイズの数百分の1の空間分解能分光撮像を行う  
→親探査機によるランデブー++赤外線分光撮像
- 表面に存在する有機物の組成と炭素・水素・窒素・酸素の同位体比をその場で測定する  
→子機が表面に着陸+その場質量分析
- 表面で採取したサンプルを地球に持ち帰る(エクストラ)

# 2500nmまでの彗星核スペクトルは トロヤ群(D/P型)小惑星とほぼ同じため区別できない

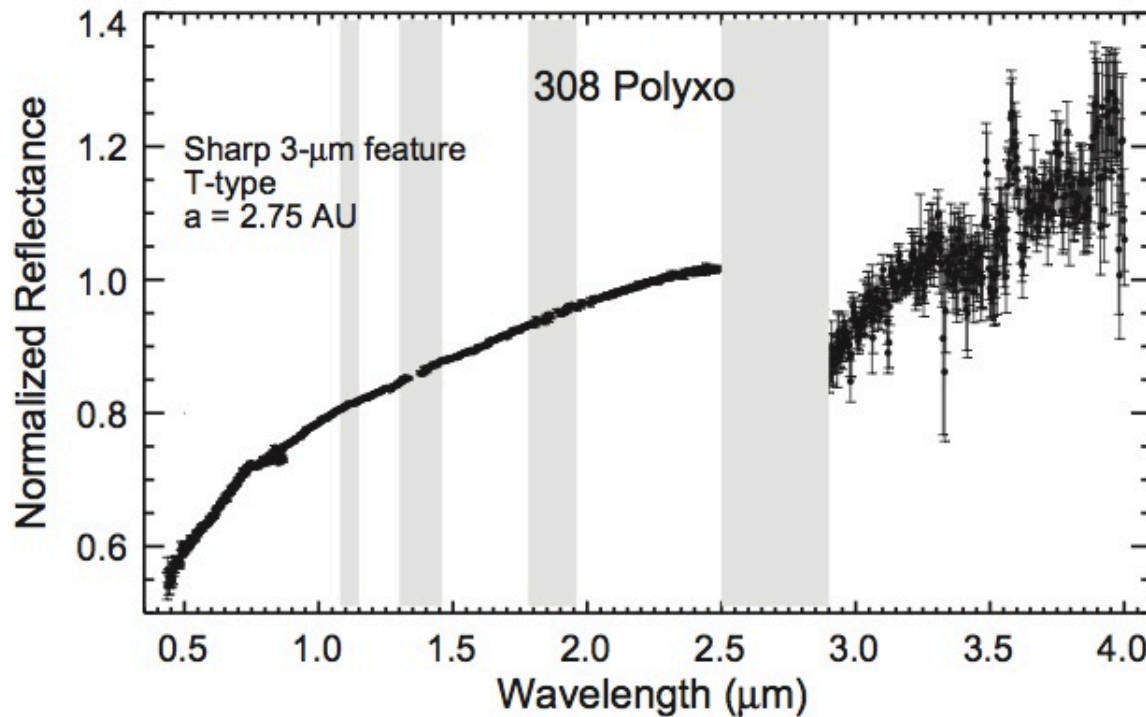
LONESO 彗星の核のスペクトルと暗い小惑星の比較 (Aveil et al. 2005)



この波長域では氷・含水鉱物の浅い吸収帯は暗い炭素物質で隠されてしまう  
また限定された領域にのみ存在する物質を捉えることは地上観測では困難

→含水鉱物と氷がより深い吸収帯を持つ波長域(>2500nm)で  
分光撮像を行い、その空間分布を詳細に調べる

# 小惑星帯のD/P/T型小惑星は 3 $\mu$ m 帯に含水鉱物の吸収を示す

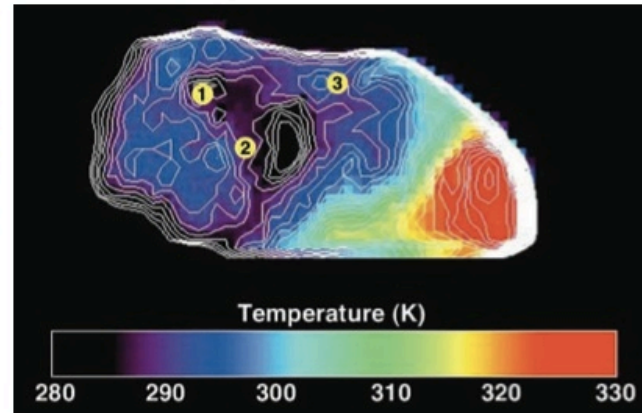


→H<sub>2</sub>O氷が融けて液体の水とケイ酸塩の反応が起った

Takir and Emery 2012

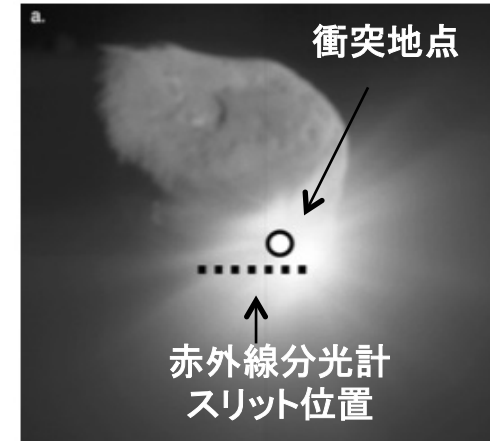
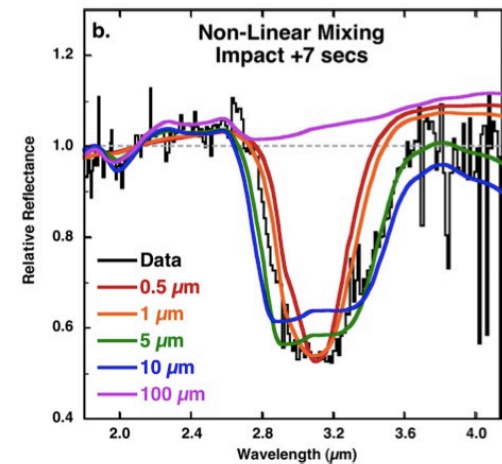
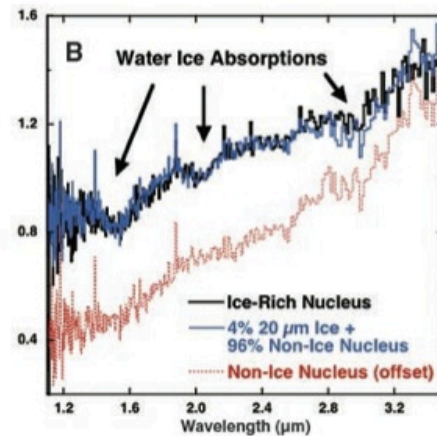
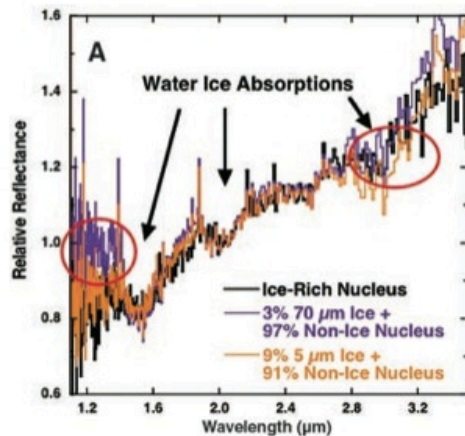
# 一方彗星核では低温領域や内部に氷の吸収

**Fig. 3.** Temperature map of the upper half of the nucleus derived from IR spectra (with 2 K contour intervals from 280 to 330 K; 120 m/pixel). Three ice-rich regions (yellow circles) are located near locally cold regions with temperatures of  $\sim 285$ , 290, and 295 K, respectively.



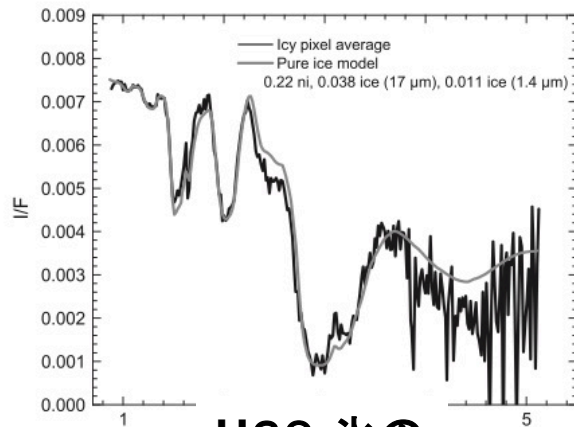
Deep Impact による  
Tempel-1 彗星の観測

Sunshine et al. 2006, 2007



→H<sub>2</sub>O氷と無水水ケイ酸塩が共存  
(大規模な融解が起っていない)

# 彗星核と同じ起源を持つ天体でも表面に氷が存在

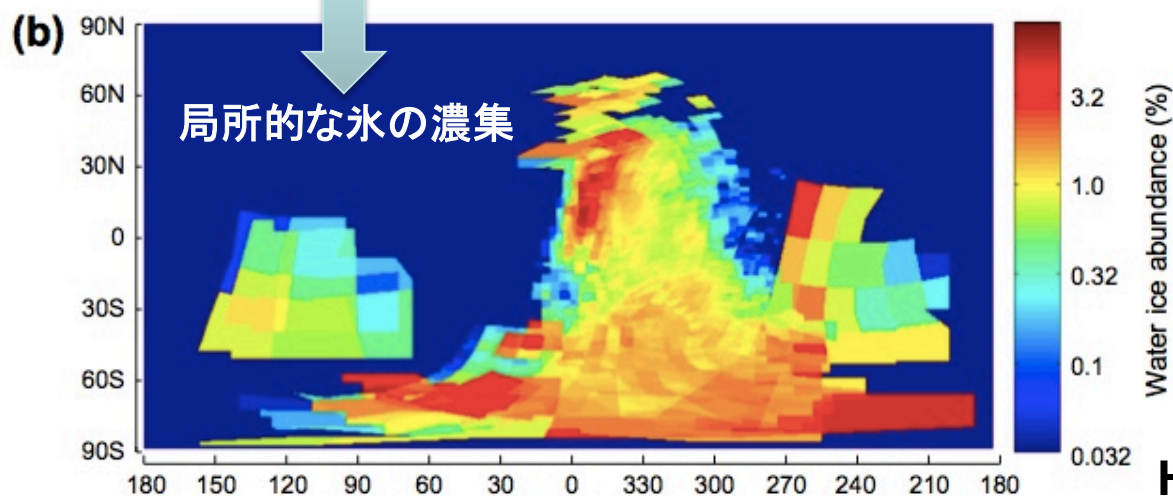


**H<sub>2</sub>O 氷の  
3μm吸収**

Fig. 8. Some areas on the p  
Shown is an average of sever  
using 22% Phoebe dark material and 3% pure ice mixture with grain radii of 1.4 and 17 μm.



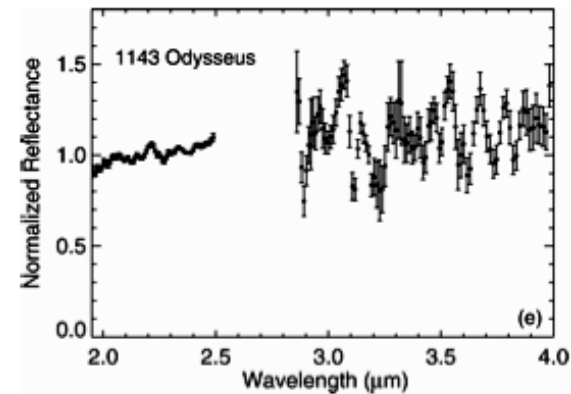
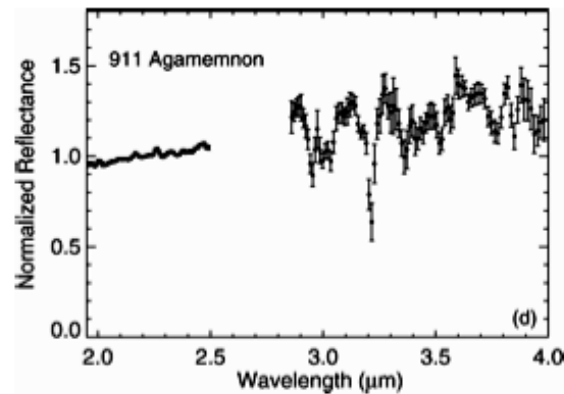
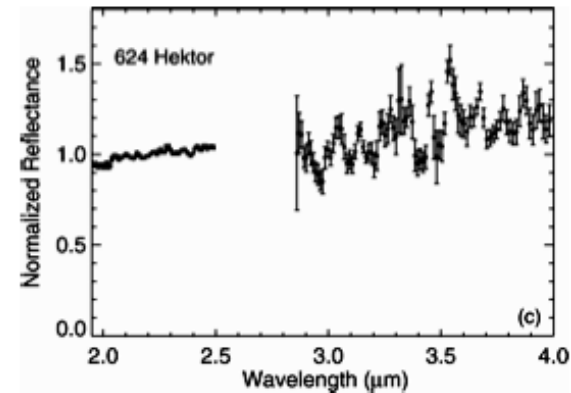
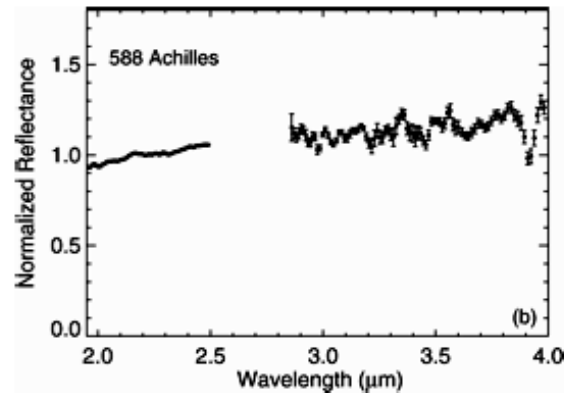
**カッシーニ探査機に近づく逆行衛星  
フェーベ(～捕獲されたEKBO)の観測**



**Hansen et al. 2012**

# トロヤ群のD型小惑星には3 $\mu$ m吸収がない

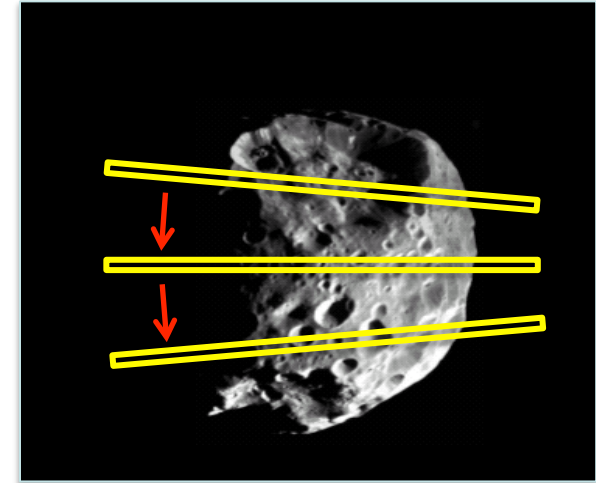
Emery and Brown (2003)



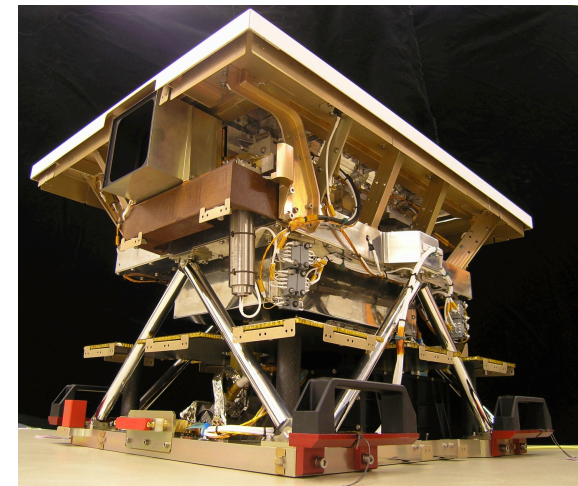
水質変成を受けてない and/or 氷は局所的にしか存在しない？  
→探査機による赤外線分光撮像で決定

# 赤外分光撮像装置での撮像分光

- 観測波長 :  $\lambda = 1 - 5\mu\text{m}$ 
  - 1.4, 1.9, 2.2 ~ 2.4 $\mu\text{m}$ 含水鉱物
  - 3 $\mu\text{m}$ 氷
  - 3.4 $\mu\text{m}$ 有機物
  - CO<sub>2</sub> ice/gas 4.2/4.3 $\mu\text{m}$
- 波長分解能 :  $R(\lambda/\Delta\lambda) = 100$
- 画角(L) : 3°
- 画素数 : 512 x 512 array
- SNR~100
- 空間分解能 200m/pix@HP

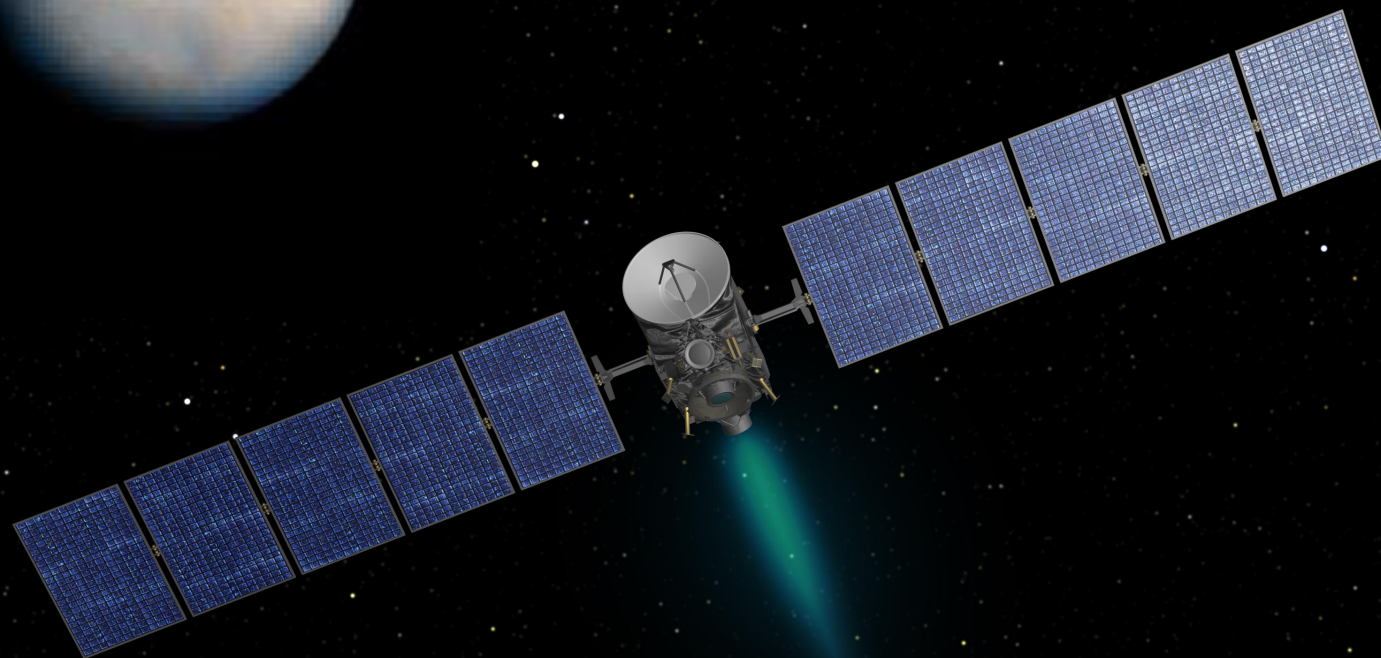


探査機の自転によるスリットスキャン



小惑星探査機Dawn(次ページ参照)  
に搭載された撮像分光装置 VIR

2015年にDawn 探査機は準惑星Ceres(～1000km)に到着し  
赤外分光撮像装置VIRで含水鉱物と氷のマッピングを行う



<http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA17650>

# 科学目標を実現するための観測・運用要求

- 種々の氷・含水鉱物・有機物が特徴的な吸収を持つ赤外域(とくに2500~5000 nmの波長域)で、天体サイズの数百分の1の空間分解能分光撮像を行う  
→親探査機によるランデブー+赤外線分光撮像
- 表面に存在する有機物の組成と炭素・水素・窒素・酸素の同位体比をその場で測定する  
→子機が表面に着陸++その場質量分析
- 表面で採取したサンプルを地球に持ち帰る(エクストラ)