

あかり衛星によるトリトンとエリスの観測

関口 朋彦（北海道教育大 旭川校）

AKARI | ASTRO-F

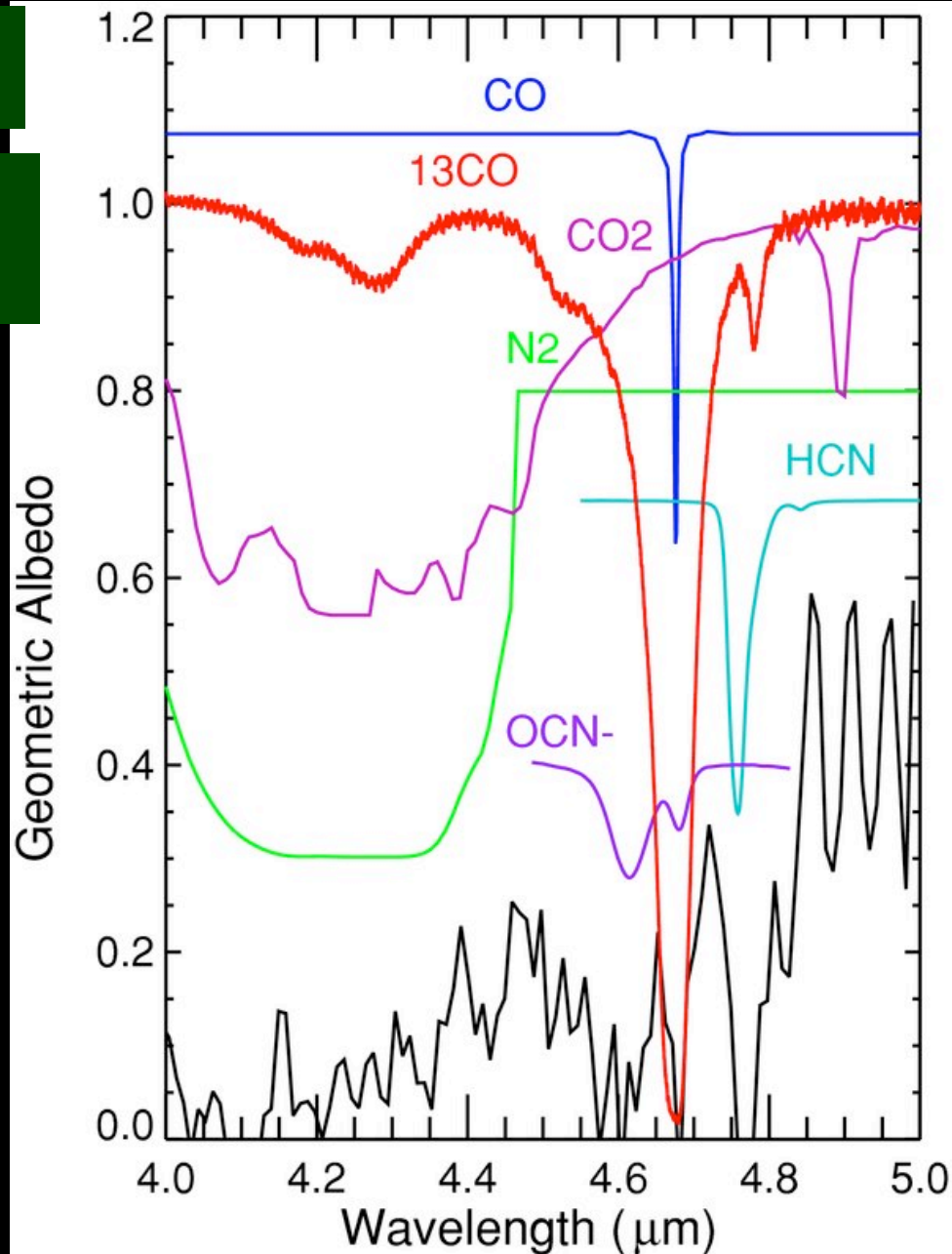


- トリトンの近赤外分光/エリスの遠赤外撮像観測
- 氷の国から 北海道教育大学
- 冥王星は大彗星か？
- 彗星はどれくらい彗星っぽいか？
- 冥王星とTNOs
- 冥王星と小天体の大きさ測定

Triton Spectrum with AKARI/IRC

Burgdorf, Cruikshank, Dalle Ore, Sekiguchi,
Nakamura, Orton, Quirico & Schmitt (APJL 2010)

A Tentative Identification of
HCN Ice on Triton



Erisの遠赤外撮像(波長: 85 μ m)

File

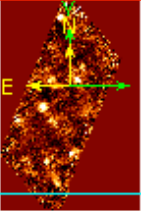
Object Value

WCS

Physical X Y

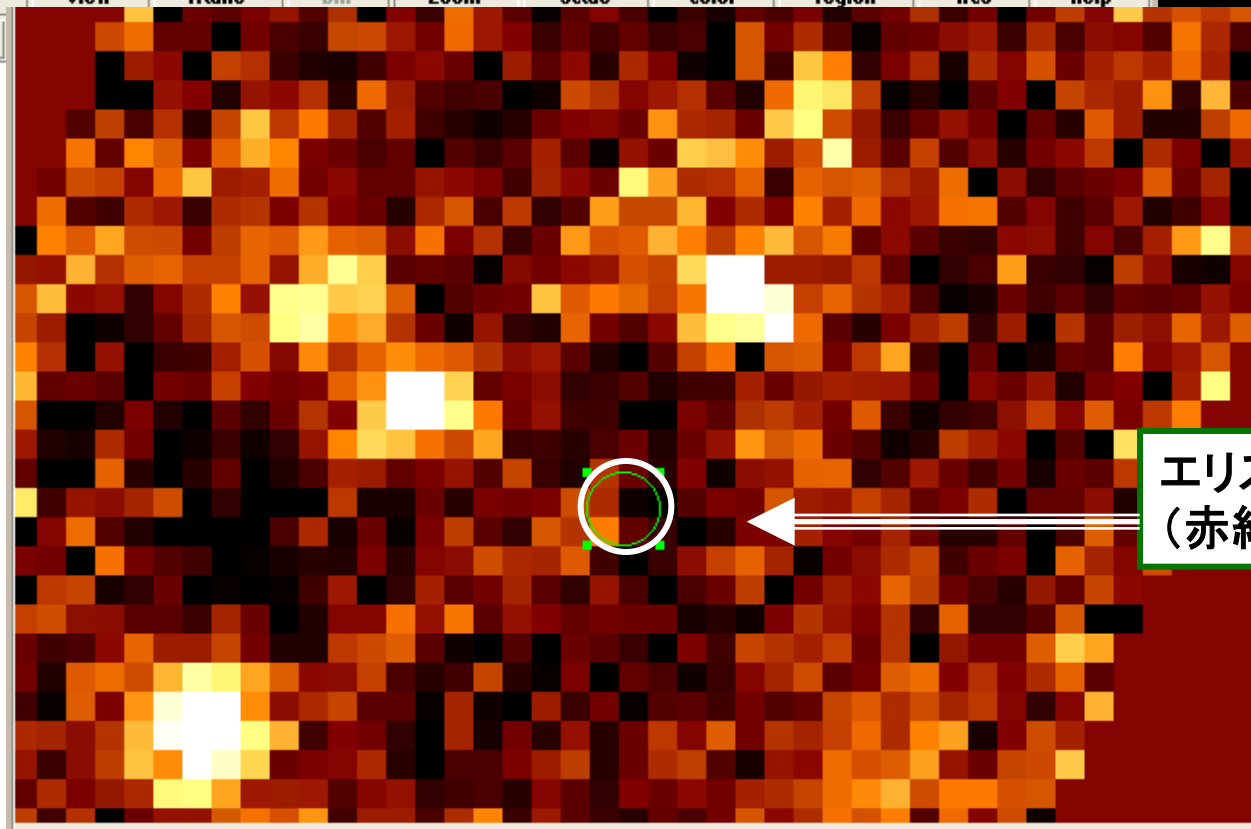
Image X Y

Frame1 Zoom 4.000 Angle 0.000



file edit view frame bin zoom scale color region wcs help

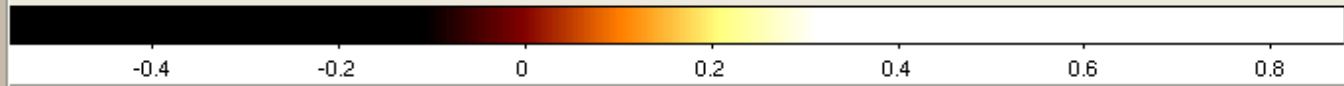
center align



~5分角

エリスの位置
(赤経・赤緯)

15 "/pix



外縁低温天体の熱放射観測： サイズ&アルベドの導出

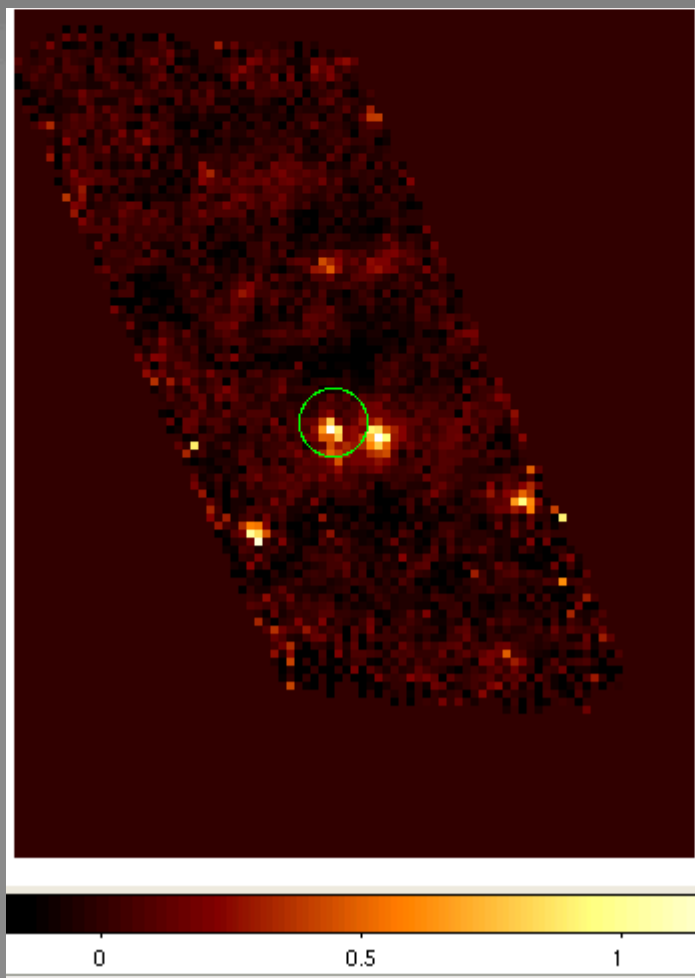
あかり FIS (遠赤外線サーベイ観測装置)

観測天体： 16天体

- **ケンタウルス天体 (4天体)**
Chiron, Chariklo, Thereus, 2003 CO1
- **準惑星(候補)TNOs (3天体)**
Eris, Haumea, Makemake
- **散乱TNOs (2天体)**
Sedna, 2005 RN43
- **他のTNOs (7天体)**
Huya (2000 EB173), Orcus (2004 DW), 2002 TX300,
2002 UX25, 2004 GV6, 2005 RM43, 2005 RR43

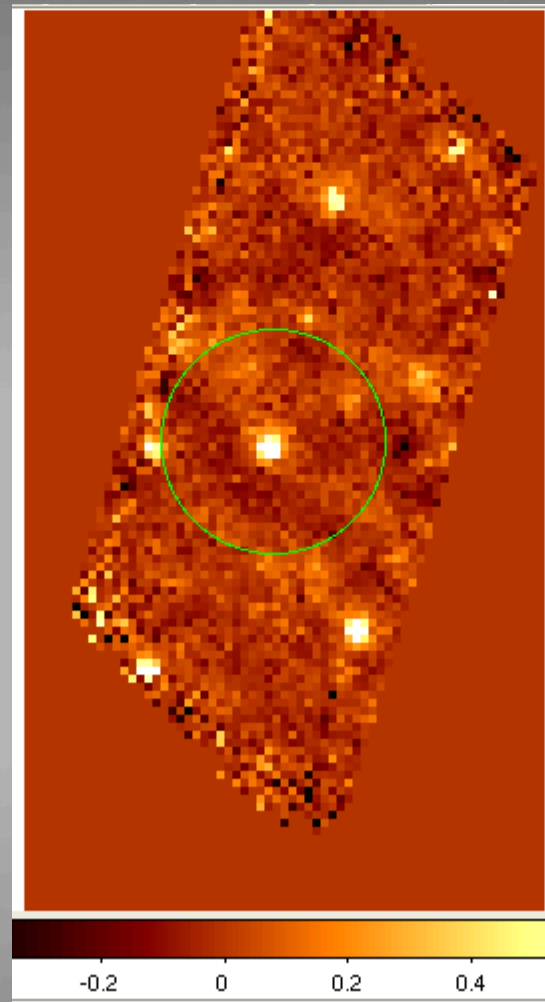
ケンタウルス天体の測光: サイズとアルベド

~20分角



Chariklo

有効直径: 219 (+30-34)km
アルベド: 0.08 (+0.03-0.02)

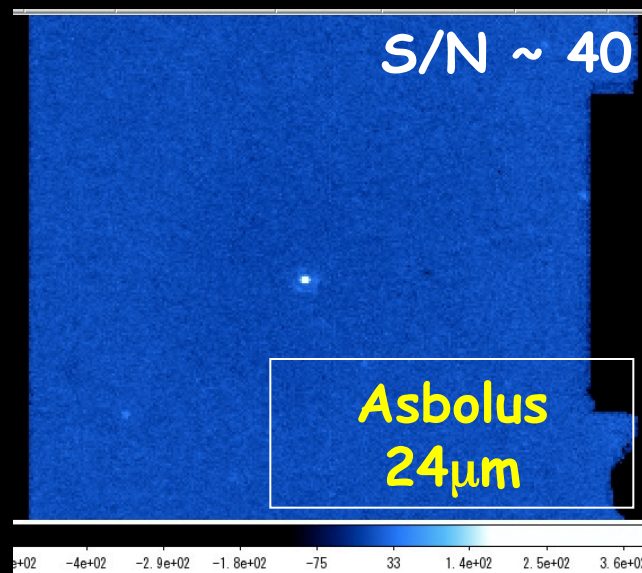
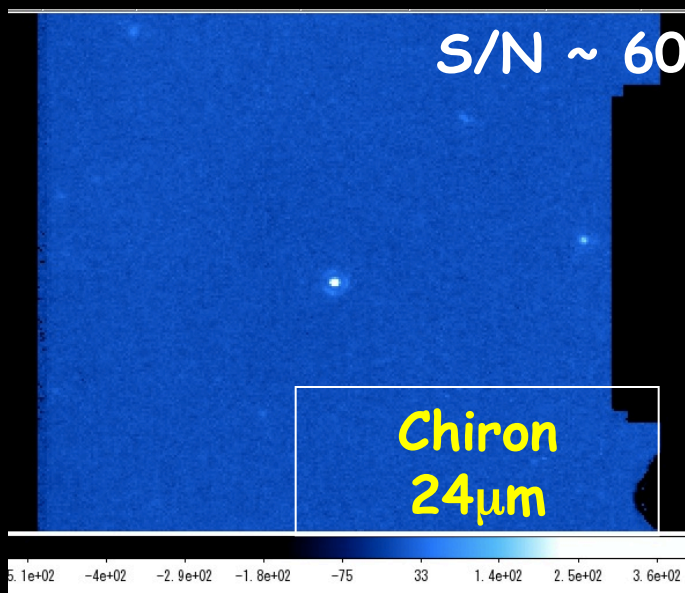
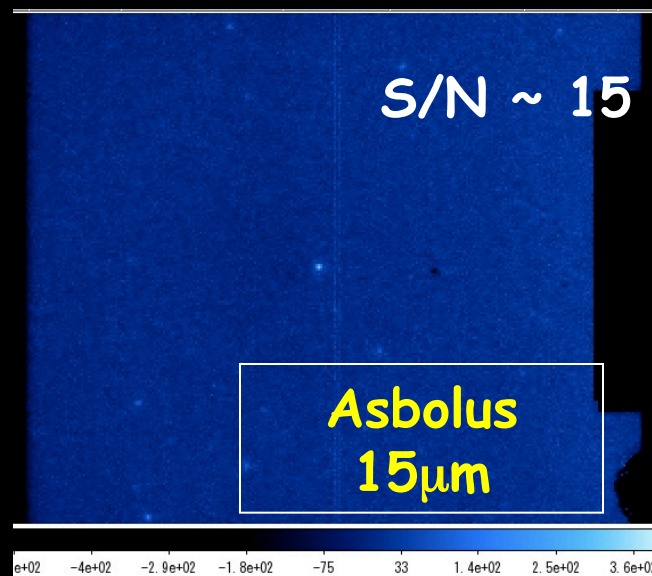
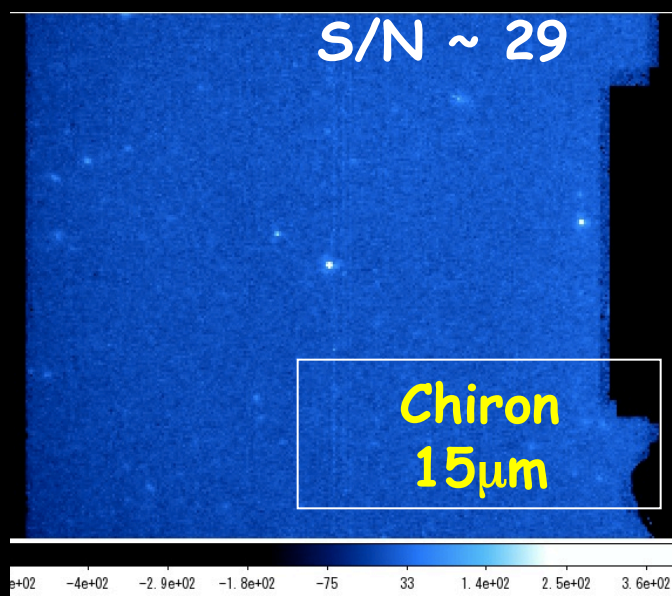


Chiron

有効直径: 250 (+34, -39)km
アルベド: 0.07 (± 0.02)

Centaur 中間赤外線(IRC: 15 μ m, 24 μ m)観測

~10分角



(1) 氷天体

冥王星：辺境の地

氷の世界：旭川

地方の単科大学
北海道教育大学
旭川校

北海道教育大学

5つのキャンパス

全学生数: 5360名



私の担当科目

前期担当科目

- 1) 地学概論 : 基礎天文学／1年生
- 2) 地学基礎実験 : 実験 (ケプラー、分光、HR図、星座早見盤) ／2年生
- 3) 中学校理科実験 I : 中学校で行う実験 (分担 1/8) ／3年生
- 4) 理科教材開発実習 : 教材開発 (分担) ／4年生
- 5) 現代と科学 : 教養科目 (分担 1/3) ／2年生
- 6) 地学演習 : 4年生卒論セミナー／4年生
- 7) 地学実験 I : 研究室セミナー／1年生～4年生
- 8) 教育フィールド研究1: ボランティア養成
- 9) 天体物理学特論 I : 大学院科目

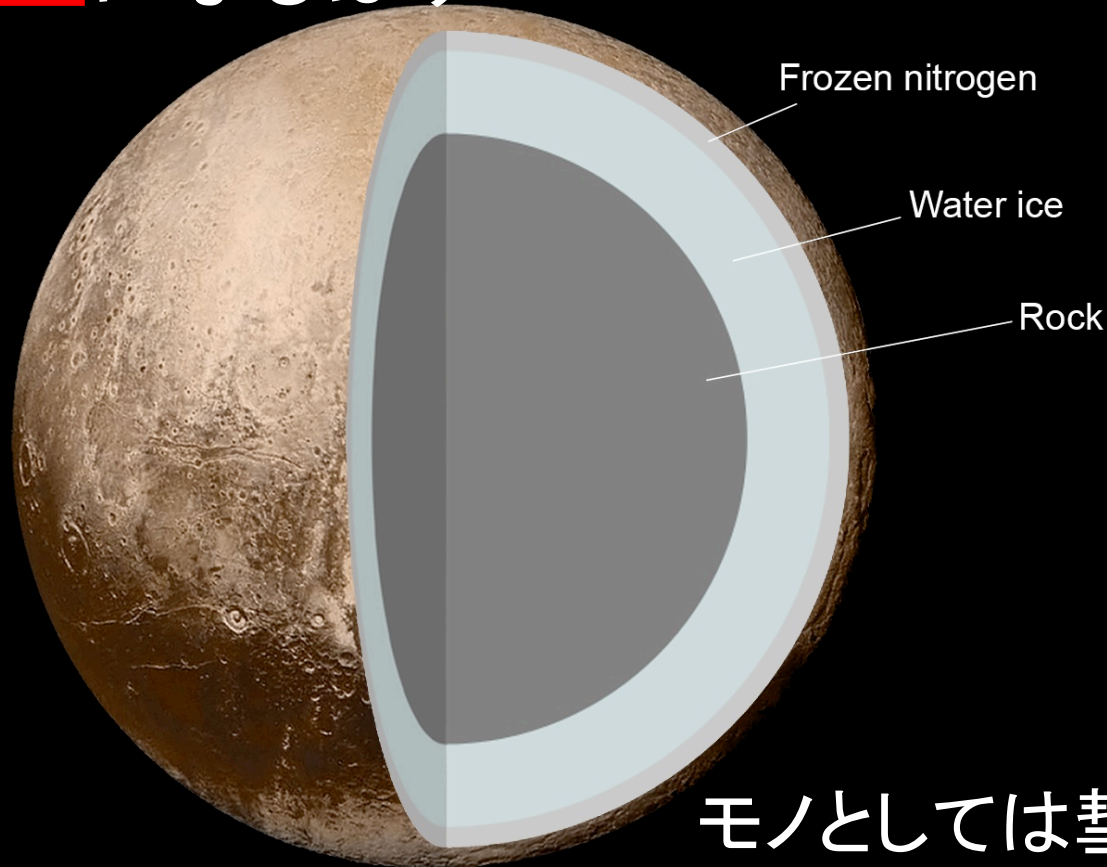
後期担当科目

- 1) 天体物理学 : 天文学／3年生
- 2) 地学基礎実験 : 実験 (ケプラー、分光、HR図、星座早見盤) ／2年生
- 3) 初等理科 (分担 1/15) ／2年生
- 4) 小学校理科 (分担 1/15) ／2年生
- 5) 理科教材開発研究 (分担 2/15) ／3年生
- 6) 教職実践演習
- 7) 中学校理科実験 II : 理科教育実験／3年生
- 8) 地学実験 II : 卒論セミナー／4年生
- 9) 天体物理学特論 II : 大学院科目

- 1) 集中講義 地学野外実習 : 流星観測 (宿泊集中講義) ／2年生
- *) 教員免許状更新講習 隔年 (旭川／北見) 現職教員

冥王星は彗星っぽいか？

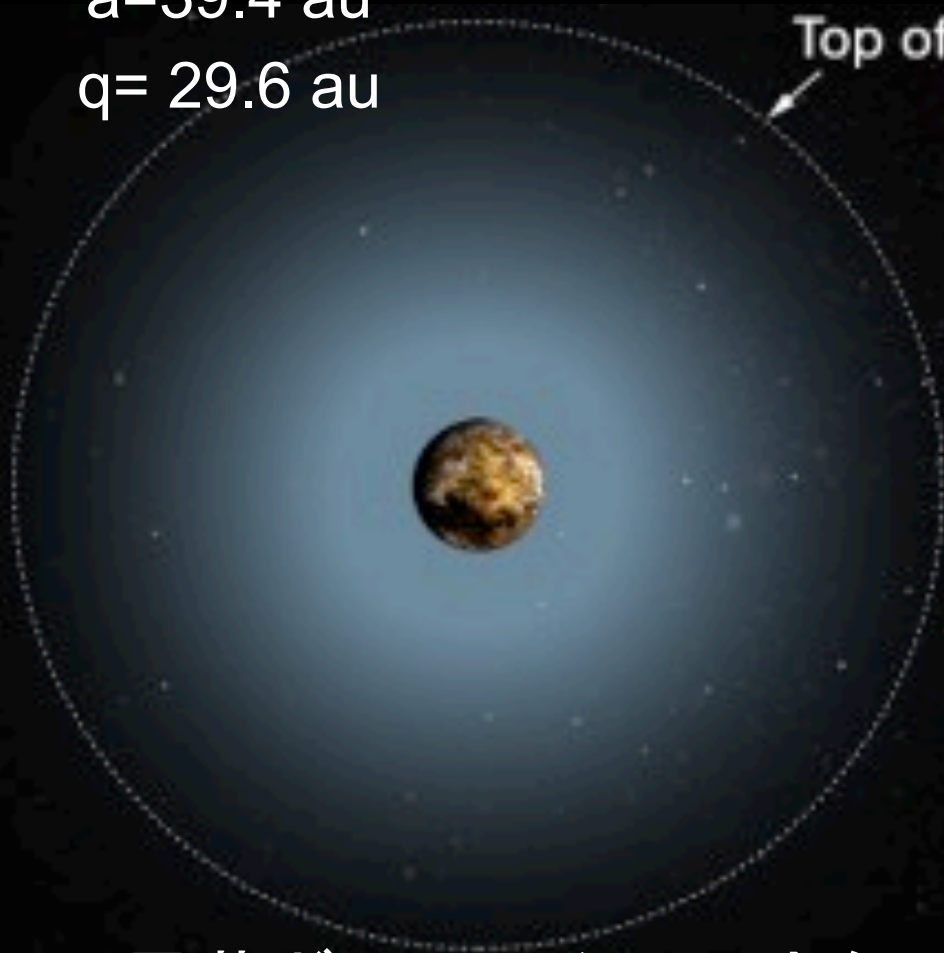
もし、太陽系の内側に落っこちて来たら、とんでもない**大彗星**になるはず...



モノとしては彗星っぽい

冥王星は彗星コマを持つ?

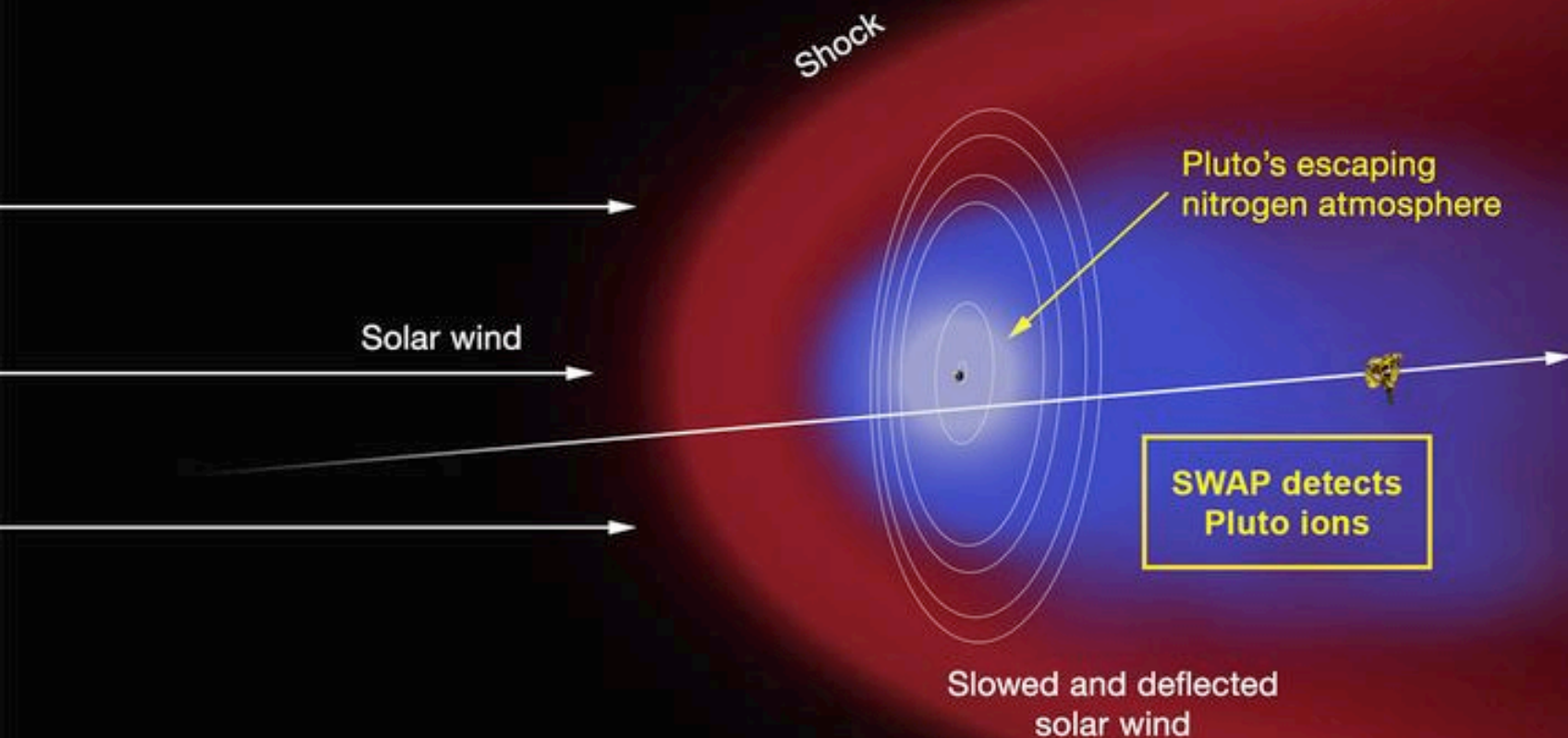
$a=39.4$ au
 $q=29.6$ au



Earth

昇華ガスによるコマ(大気)

冥王星は彗星はイオンの尾を持つ?



太陽風と反応するプラズマテイル(状の磁気圏)

NASA NewHorizons web page

彗星は、汚れた雪玉？

小惑星は岩の塊？



Dirty Snowball ??



1980年式 Chevrolet Malibuに落ちた隕石
ニューヨーク州ピークスビル 1992, 10, 9

小天体： 彗星と小惑星の違いは？

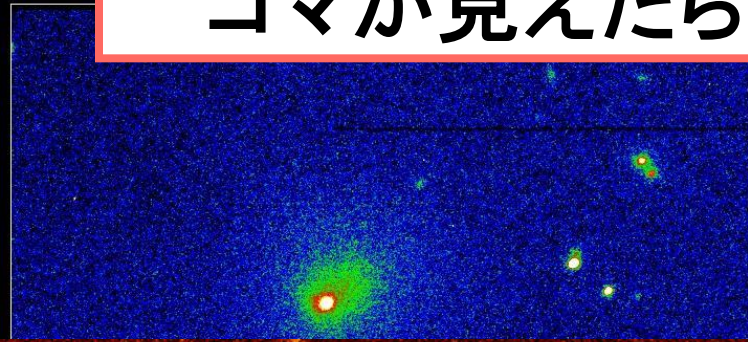
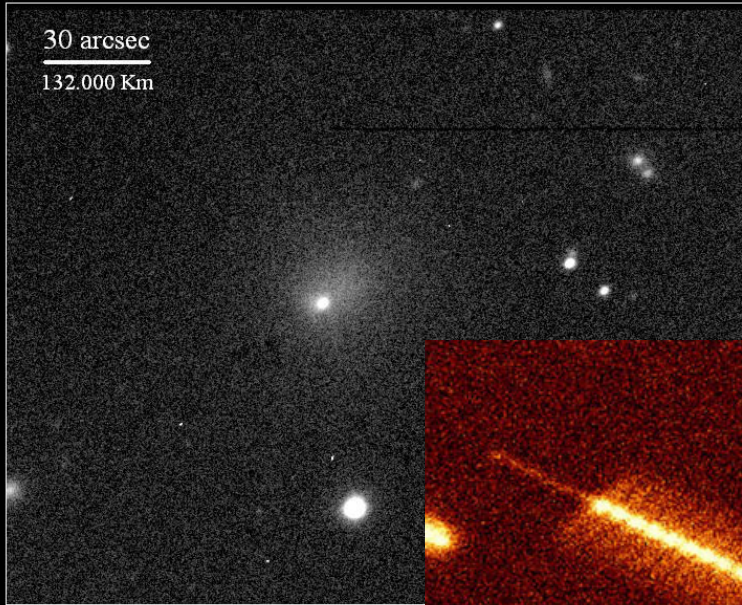
- **彗星**とは： 太陽系の外側、カイパーベルトやオールト雲からやって来る**氷**(揮発性物質)の小天体
- **小惑星**とは： 火星と木星の間のメインベルトにあるものや一部は地球に近づく、**岩石**(ケイ酸塩鉱物)小天体

NO !?

彗星と小惑星の境目がなくなって来た

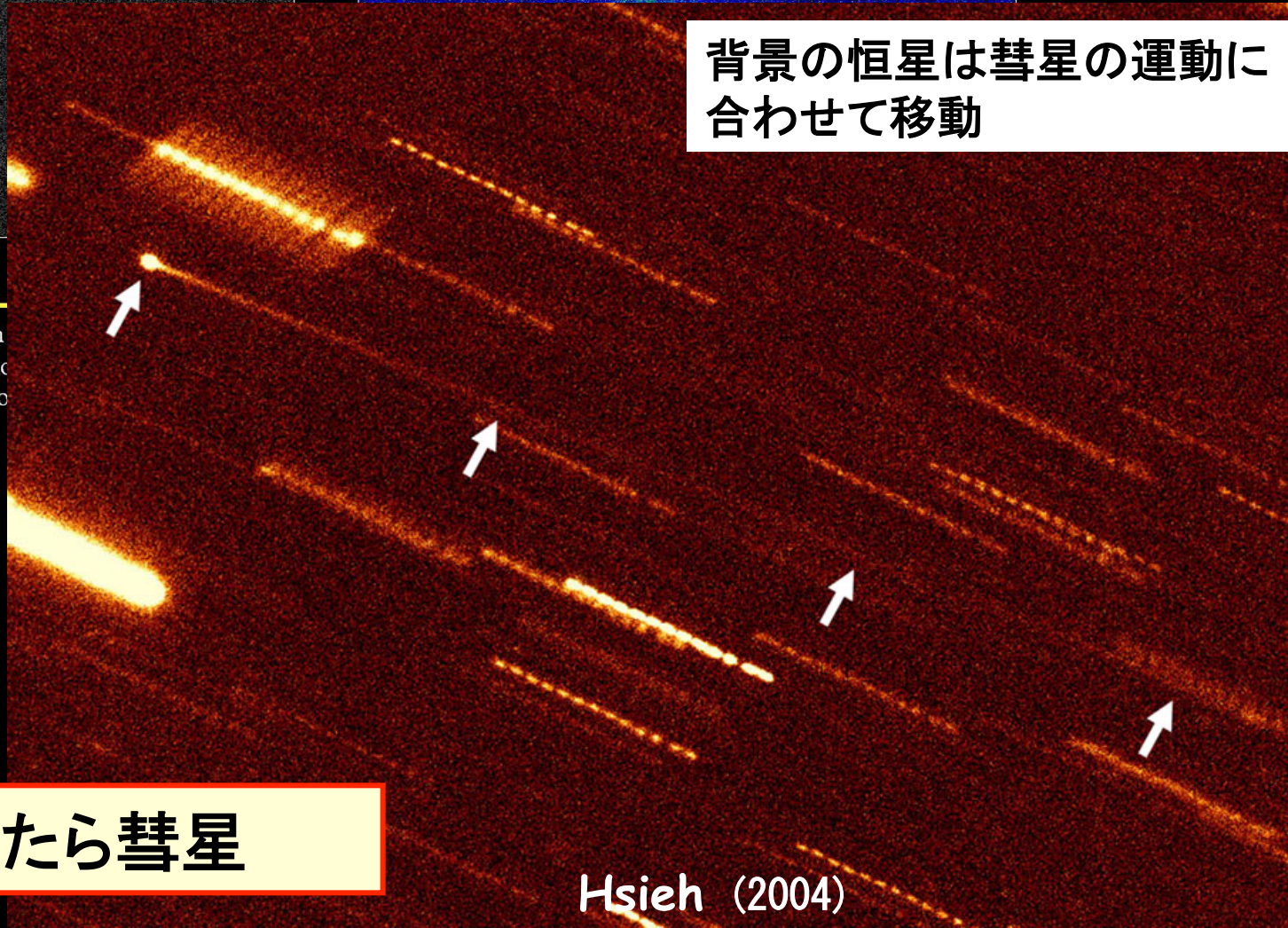
彗星の定義は「**ボヤツと見えたら**(あるいは尾が見えたら) **彗星**」、一方で、「**点光源**の小天体なら **小惑星**」
つまり、力学的(軌道)でも物質科学的な定義でもなく、
ただ“**姿、見え方**”である

コマが見えたら彗星



背景の恒星は彗星の運動に合わせて移動

Comet 29P/Schwassmann-Wachmann
Remotely through the "Liverpool" RC
2.0-m, f/10 Ritchey-Chretien reflector
N. Howes, E. Guido and G. Sostero



尾が見えたら彗星

Hsieh (2004)

小惑星とは

点光源として観測される**小天体**が小惑星

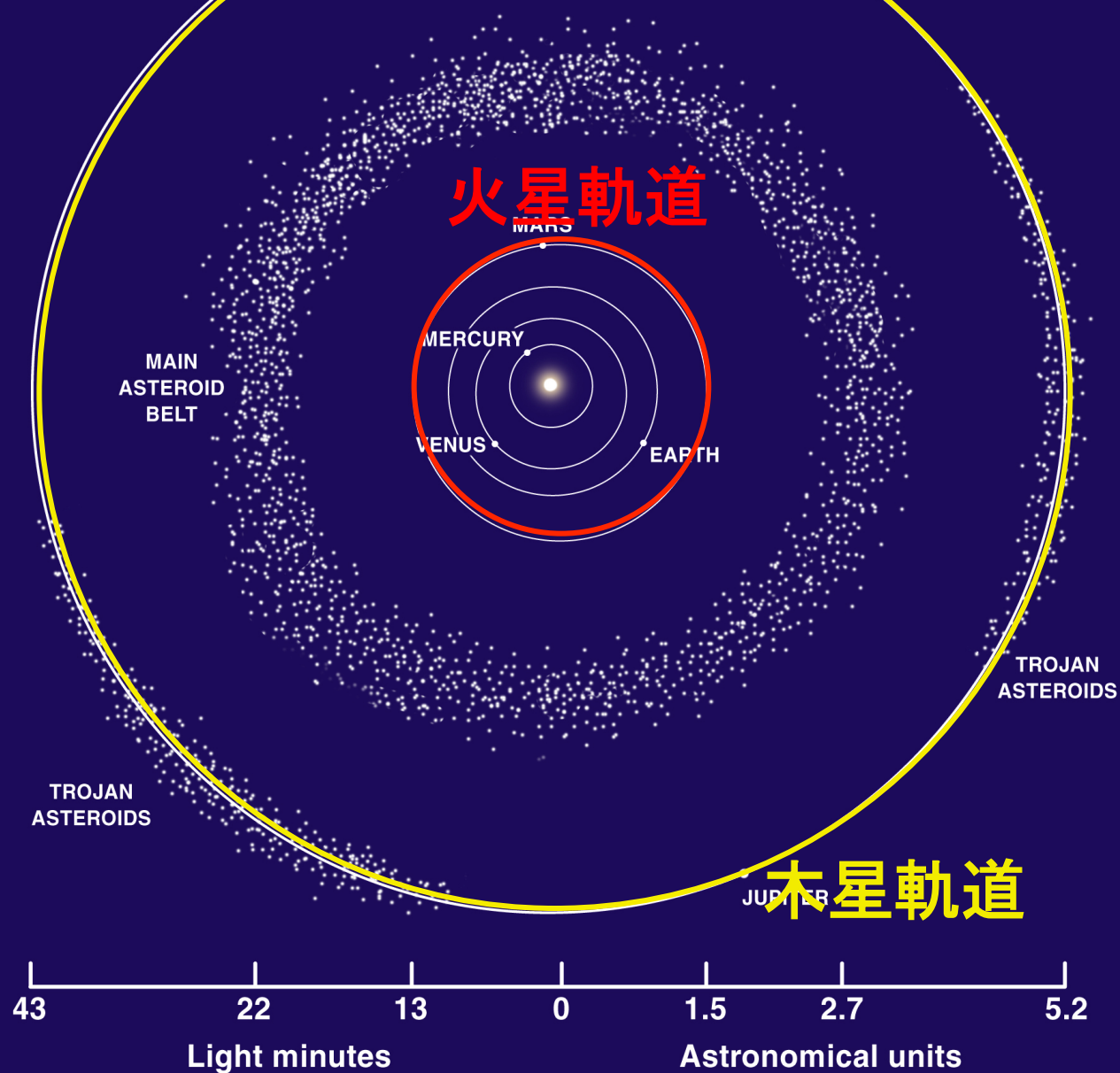
(彗星コマやダストの尾・プラズマの尾がなければ)
ぼんやりとして見えなければ、あるいは尾が見えなければ

点光源：**小惑星**



(8660) Sano

小惑星帯(火星と木星の間)



メインベルトの中で彗星活動をする天体 → 彗星

133P/Elst-Pizarro

P/2005 U1 (Read)

118401 (1999 RE₇₀)

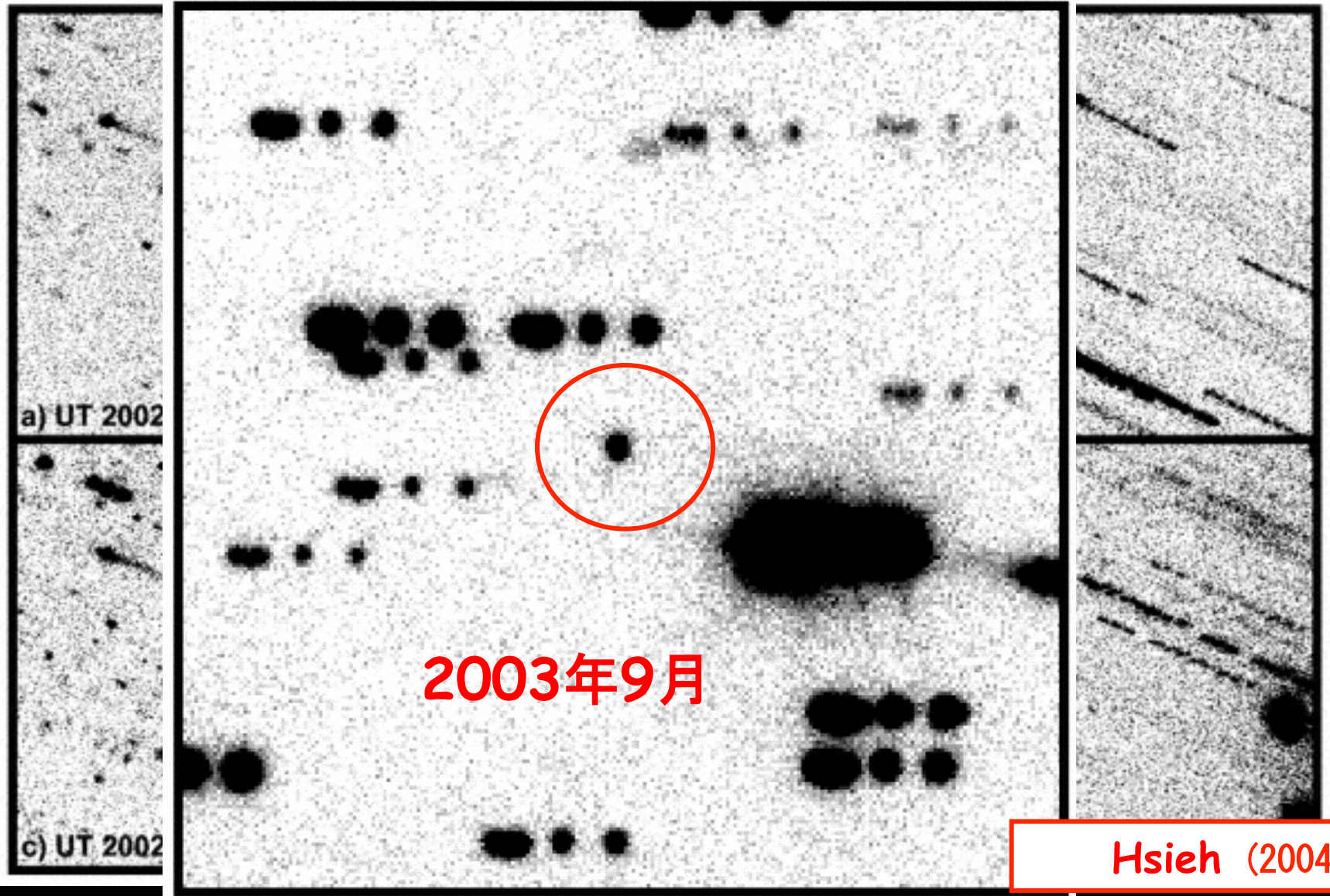
Themis族
(Collision- Family)

尾の明るさ ~
 $30\text{mag}/\text{arcsec}^2$

Hsieh (2006)

2002年は彗星 (UH-2.2m)
2003年は小惑星 (Keck-10m)

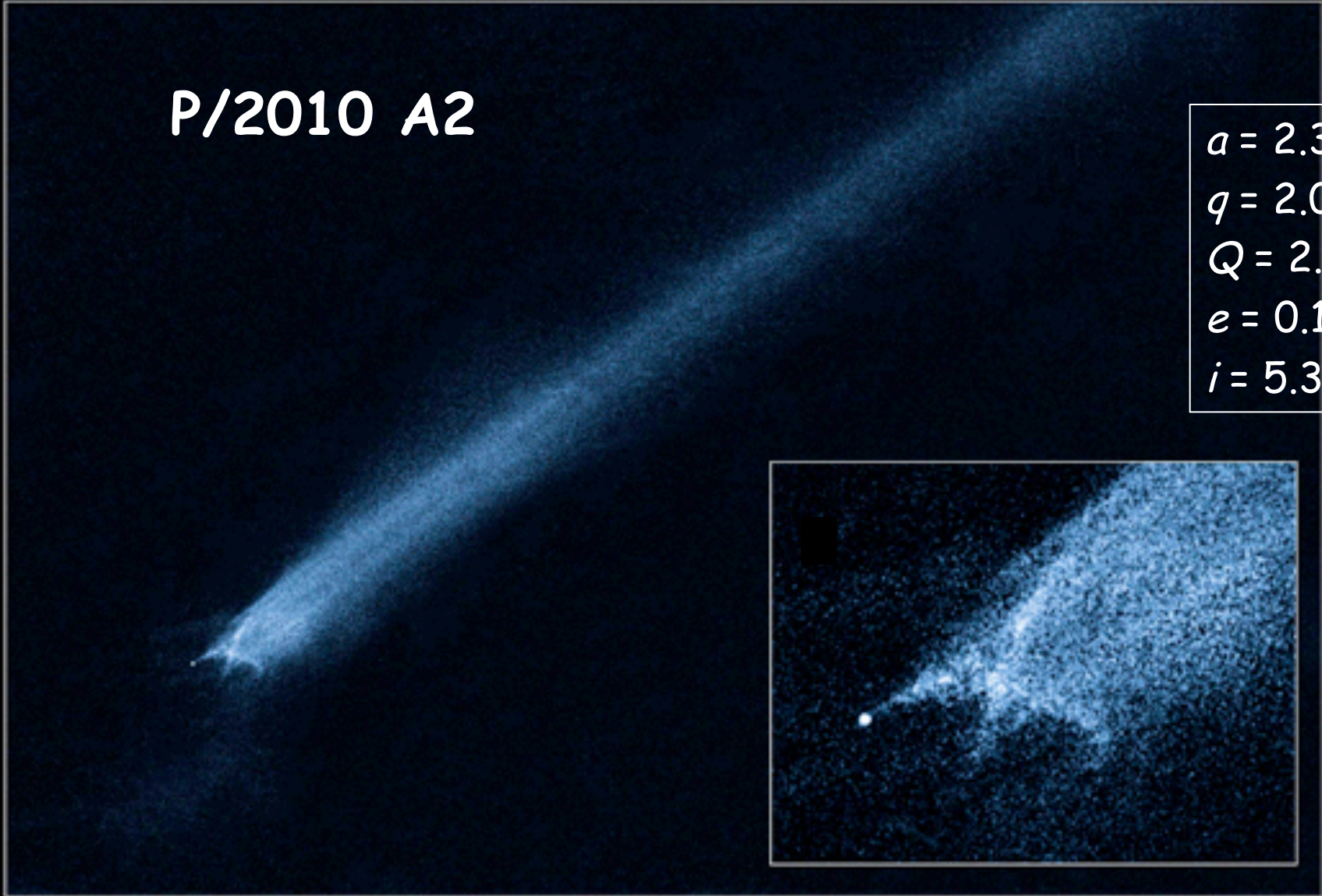
(7968) 1996 N2
133P/ Elst-Pizarro



Hsieh (2004)

P/2010 A2

$a = 2.3 \text{ au}$
 $q = 2.0 \text{ au}$
 $Q = 2.6 \text{ au}$
 $e = 0.12$
 $i = 5.3^\circ$



尾が見えたので彗星 ← 衝突起源か？



$e = 0.79$

2002 CE10

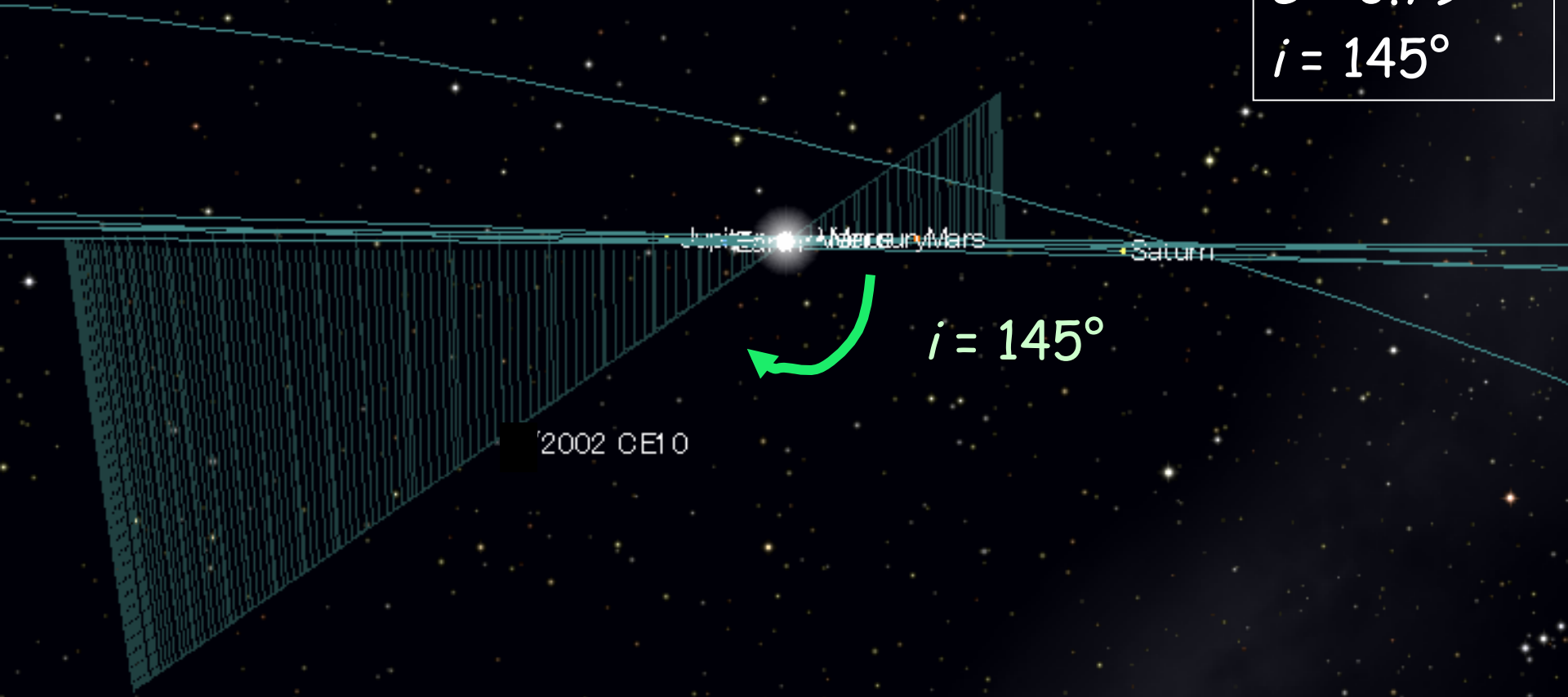
$a = 9.82$ au
 $q = 2.04$ au
 $e = 0.79$
 $i = 145^\circ$

ハレー彗星型の軌道を持つ小惑星

逆行軌道(ハレー彗星型)の小惑星

2002 CE10

$a = 9.82 \text{ au}$
 $q = 2.04 \text{ au}$
 $e = 0.79$
 $i = 145^\circ$



新たな小惑星グループ

TABLE 1
CURRENTLY KNOWN DAMOCLOIDS

Jewitt (AJ, 2005)

ダモクロイド

| Name | a^a (AU) | e^b | i (deg) ^c | q^d (AU) | T_J^e |
|---|---------------|-------|---------------------------|---------------|---------|
| 20461 Dioretsa (1999 LD ₃₁) | 23.777 | 0.900 | 160.4 | 2.390 | -1.542 |
| 2000 HE ₄₆ | 23.985 | 0.902 | 158.38 | 2.355 | -1.508 |
| 1999 LE ₃₁ | 8.163 | 0.472 | 151.88 | 4.310 | -1.310 |
| C/LINEAR (2002 CE ₁₀) ^f | 9.816 | 0.791 | 145.46 | 2.047 | -0.853 |
| (65407) 2002 RP ₁₂₀ | 55.940 | 0.956 | 119.11 | 2.473 | -0.845 |
| 2000 DG ₈ | 10.786 | 0.793 | 129.43 | 2.231 | -0.631 |
| C/LONEOS (2001 OG ₁₀₈) ^f | 13.30 | 0.925 | 80.26 | 0.994 | 0.597 |
| 2000 AB ₂₂₉ | 52.497 | 0.956 | 68.72 | 2.292 | 0.773 |
| 1997 MD ₁₀ | 26.740 | 0.942 | 59.04 | 1.543 | 0.975 |
| C/LINEAR (2002 VQ ₉₄) ^f | 218.161 | 0.969 | 70.50 | 6.800 | 1.095 |
| 5335 Damocles (1991 DA) | 11.834 | 0.867 | 62.10 | 1.573 | 1.143 |
| 2002 XU ₉₃ | 67.426 | 0.689 | 77.88 | 20.983 | 1.173 |
| 1998 WU ₂₄ | 15.221 | 0.907 | 42.56 | 1.419 | 1.404 |
| 1999 XS ₃₅ | 18.079 | 0.948 | 19.47 | 0.948 | 1.411 |
| 2000 KP ₆₅ | 88.323 | 0.963 | 45.62 | 3.274 | 1.613 |
| 1996 PW | 287.127 | 0.991 | 29.76 | 2.547 | 1.732 |
| 2003 WG ₁₆₆ | 5.160 | 0.644 | 55.41 | 1.838 | 1.873 |
| 2003 WN ₁₈₈ | 14.566 | 0.849 | 26.94 | 2.200 | 1.933 |
| (15504) 1999 RG ₃₃ | 9.634 | 0.775 | 35.13 | 2.164 | 1.946 |
| 2004 DA ₆₂ | 7.709 | 0.467 | 52.23 | 4.107 | 1.993 |

NOTE.—As of 2004 July 1. Objects are ordered by Tisserand parameter,

特異小惑星 2002 CE10

(Aug. 22, 2003, $r=2.1\text{AU}$)

$$a = 9.82 \text{ au}$$

$$q = 2.04 \text{ au}$$

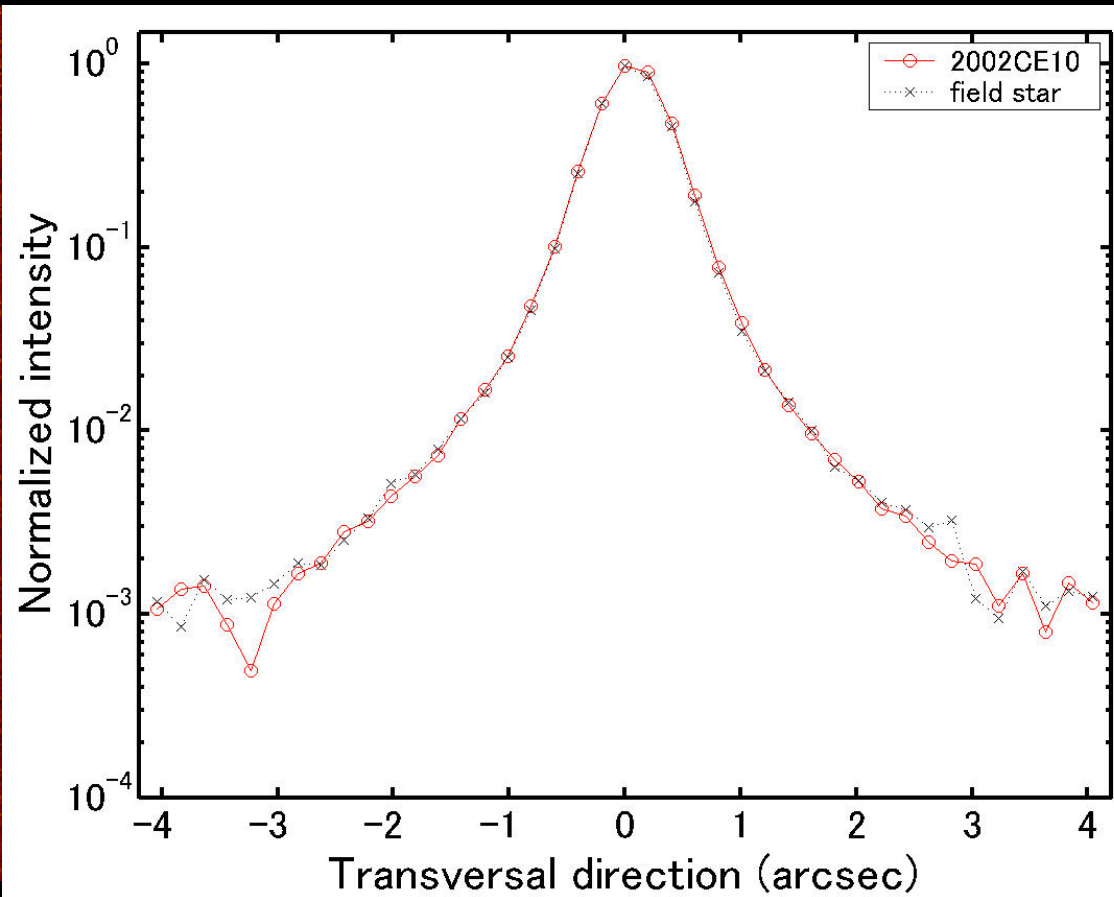
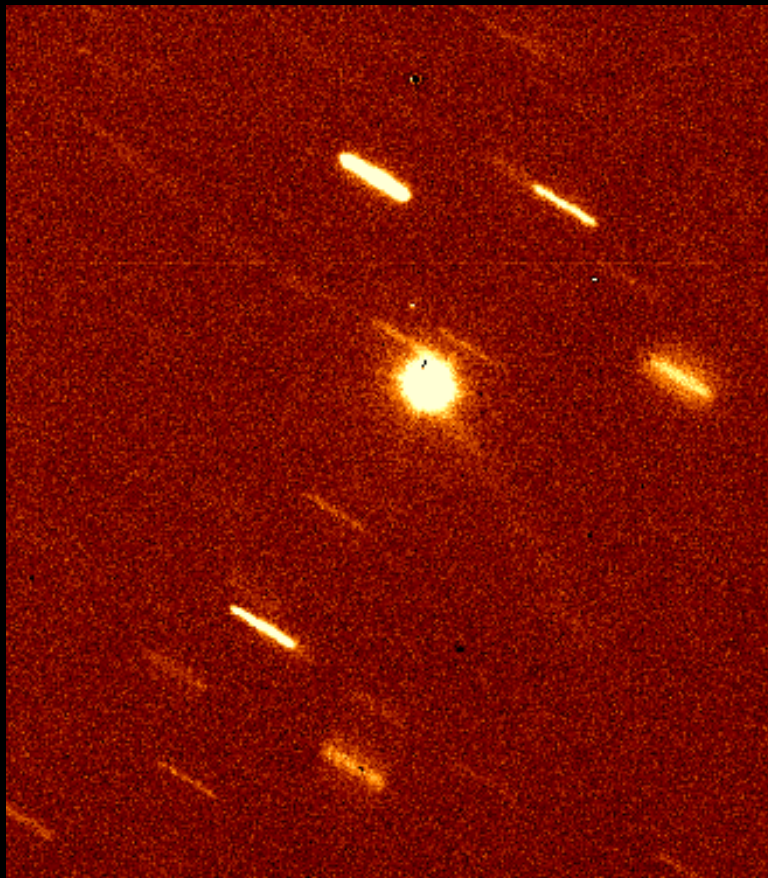
$$e = 0.79$$

$$i = 145^\circ$$

特異小惑星 2002 CE10

(Aug. 22, 2003, $r=2.1\text{AU}$)

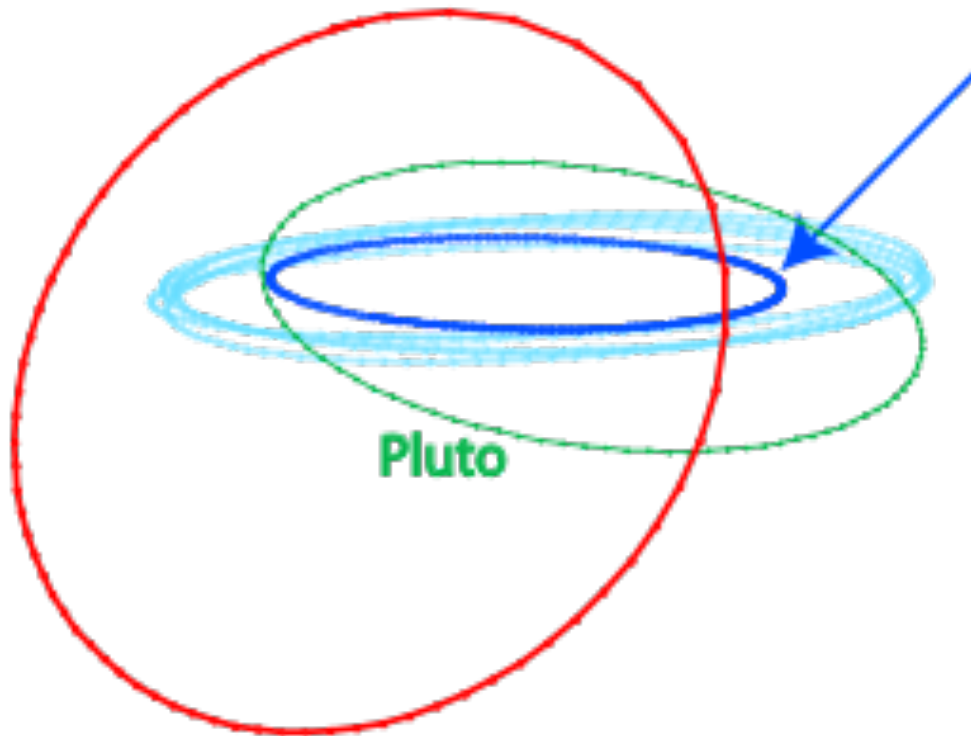
彗星像と恒星像のPSF比較



PSFは一致 \rightarrow 彗星状ではない

逆行TNO → Scattered TNO? Inner Oort Cloud?

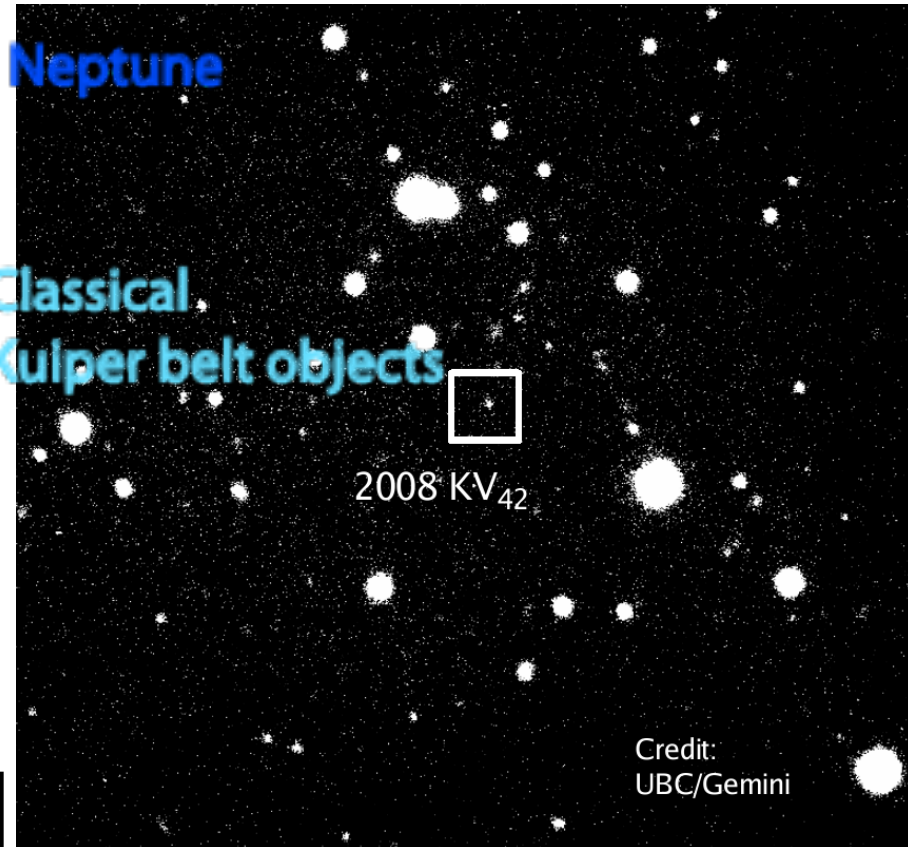
2008 KV42



Neptune

Classical
Kuiper belt objects

Pluto



2008 KV₄₂

Credit:
UBC/Gemini

Semi-major axis: $a=45.5$ AU
Aphelion: $Q=70.6$ AU
Perihelion: $q=20.3$ AU
Eccentricity: $e=0.553$
Inclination: $i=103.503^\circ$

V24等

近赤外では約1等位明るい
が、見たいのはその吸収



Dirty Snowball !!



Fred Whipple (1906 - 2004)

彗星の素顔

探査機

1P/ Halley - Giotto他 (1986)

19P/Borrelly- Deep Space 1 (2001)

81P/Wild 2 - Stardust (2004)

9P/Tempel 1 - Deep Impact (2005)

103P/Hartley 2 - EPOXI (2010)

67P/Churyumov-Gerasimenko - ROSETTA (2015)



地上観測

1P/Halley (1986)


C/1996B2 Hyakutake (1996)

C/199501 Hale-Bopp (1997)



彗星 探査機

Albedo
2~5%



1P/ Halley
Giotto (1986)



19P/Borrelly
Deep Space 1 (2001)



103P/Hartley 2
EPOXI (2010)

81P/Wild 2
Stardust (2004)



9P/Tempel 1
Deep Impact (2005)

ROSETTA & 67P



着陸機

5 km

探査機ロゼッタ

チュリュモフ=ゲラシメンコ彗星

→ COMET 67P/CHURYUMOV–GERASIMENKO'S VITAL STATISTICS

体積と密度

21.4 km³
Volume
1.0 × 10¹³ kg
Mass
470 kg/m³
Density
70–80%
Porosity

大きさ

2.6 km
2.3 km
1.8 km
1.8 km
4.1 km
3.3 km

自転

Rotation period
12.4043 hours

Spin axis:
69.3°
Right Ascension

64.1°
Declination

52°
Obliquity of the comet's rotational axis

X, Y Equatorial axes
Z Spin axis

塵とガスの放出量

4
Dust/gas ratio

5.3 × 10⁻⁴
D/H ratio

Average water vapour production

300 ml/s → June 2014

600 ml/s → July 2014

1200 ml/s → August 2014

温度

-93°C to -43°C

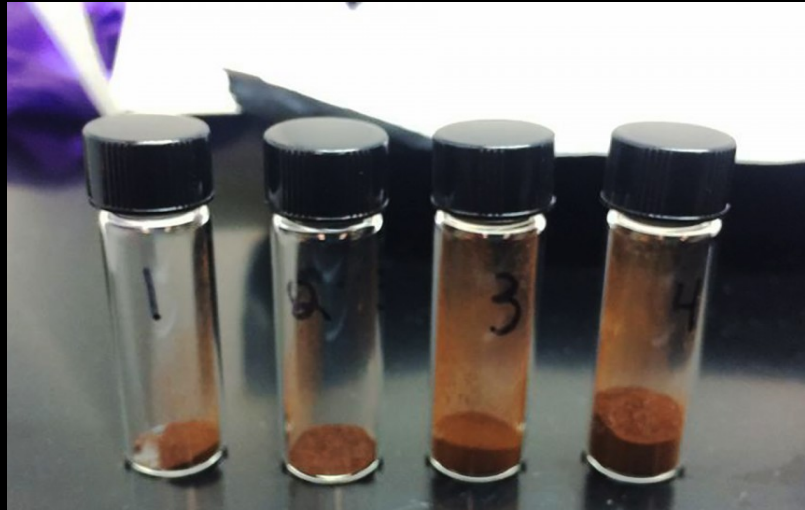
-243°C to -113°C

6%

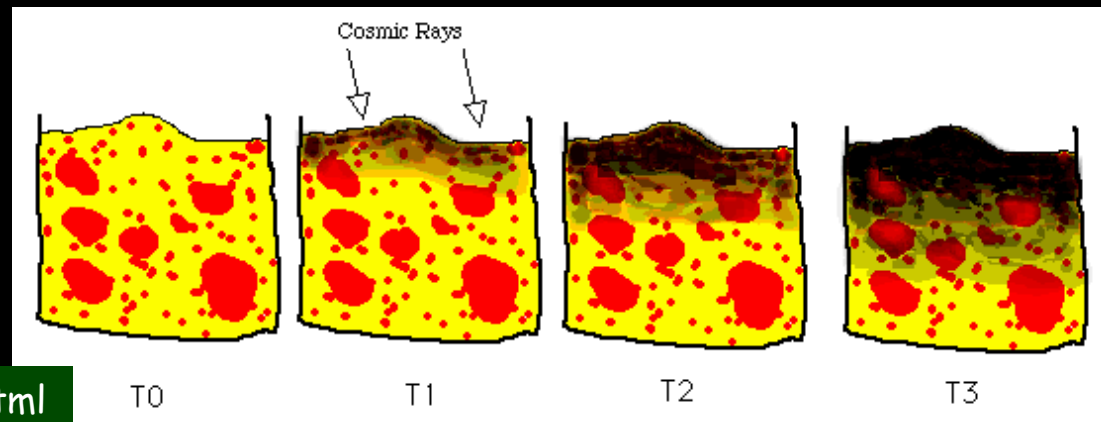
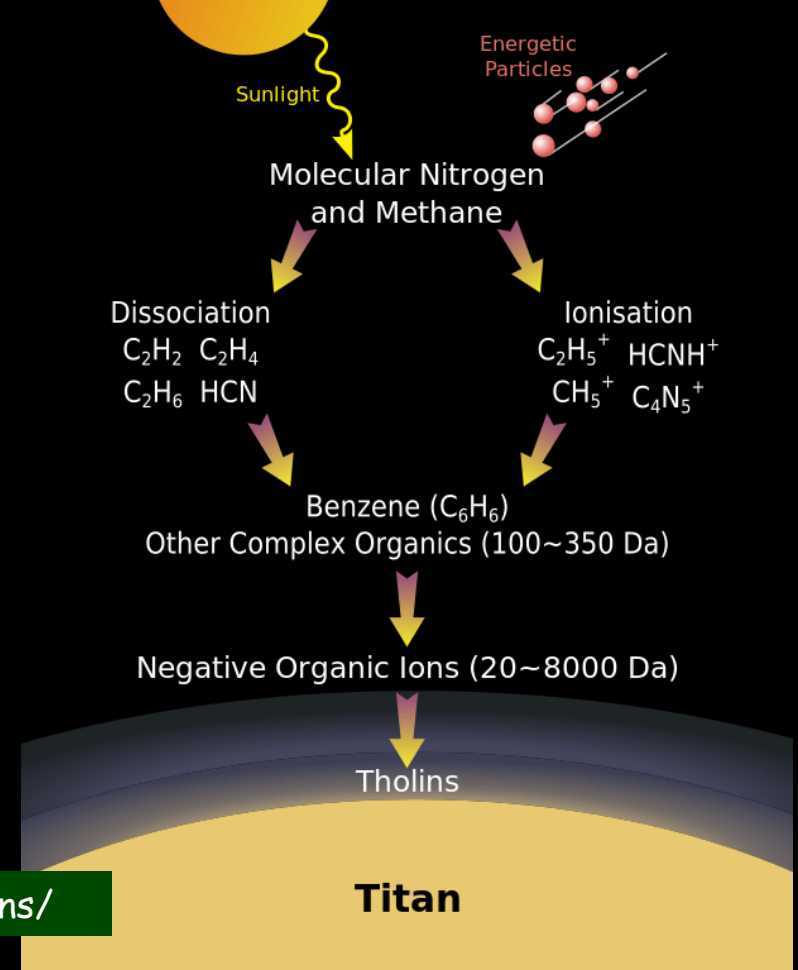
Rotation shape model: OSIRIS; surface temperature: VIRTIS; subsurface temperature: MIRO; water production rate: MIRO; D/H: ROSINA; gas fluxes: GIADA, MIRO, ROSINA; volume: OSIRIS; mass: RSI; density: RSI/OSIRIS; albedo: OSIRIS, VIRTIS; comet images: NavCam

Data based on values published in January 2015

Titan tholin? Triton tholin? Ultra Red Matter??



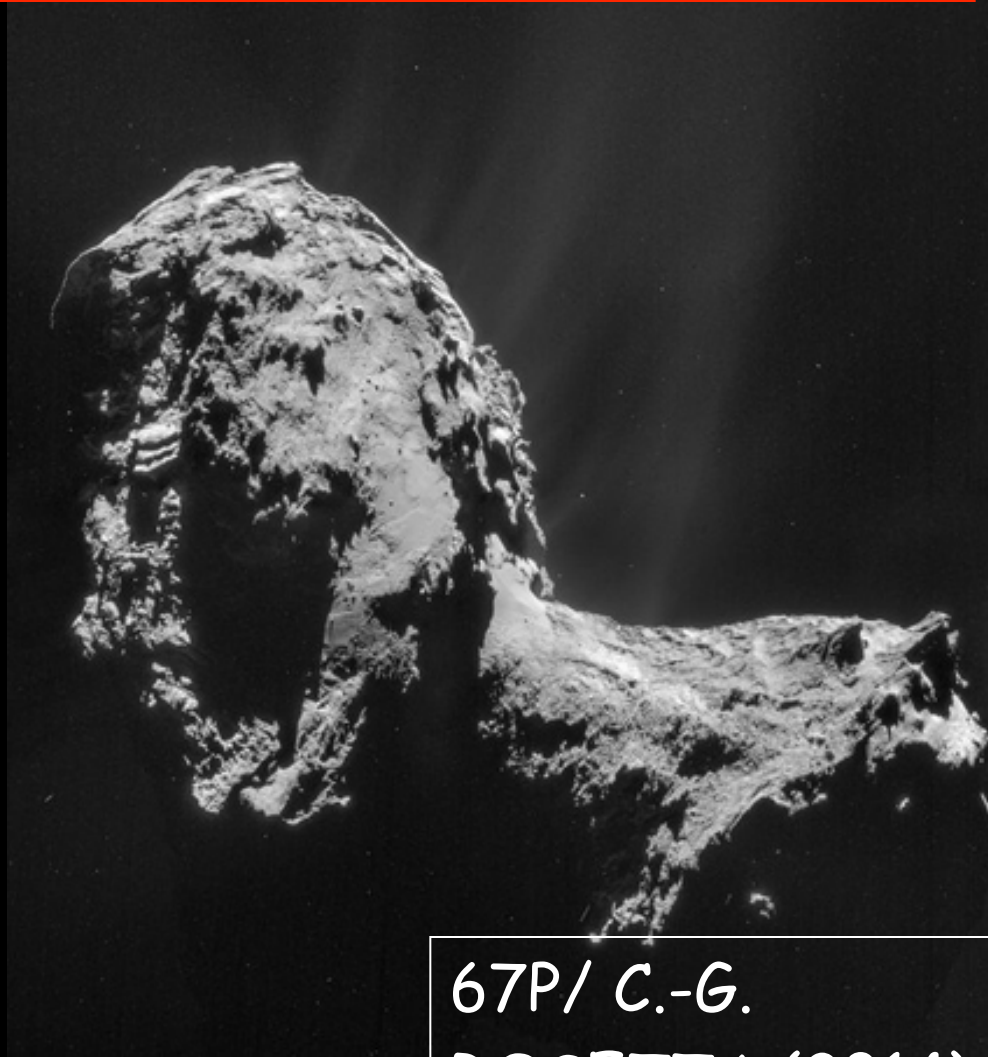
<https://briankoberlein.com/2015/09/21/what-are-tholins/>



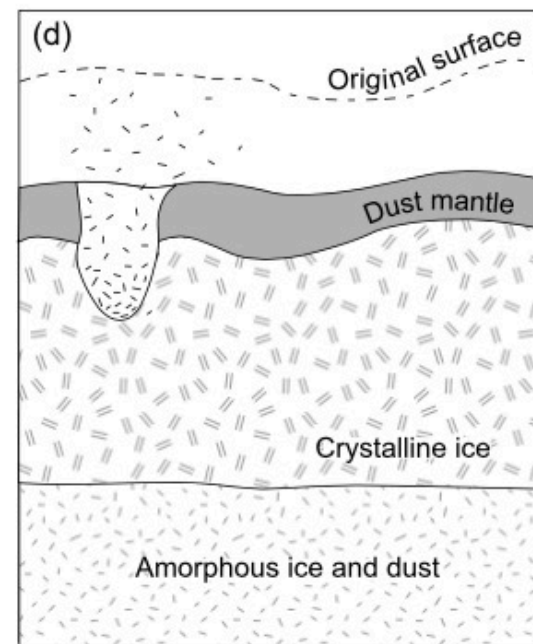
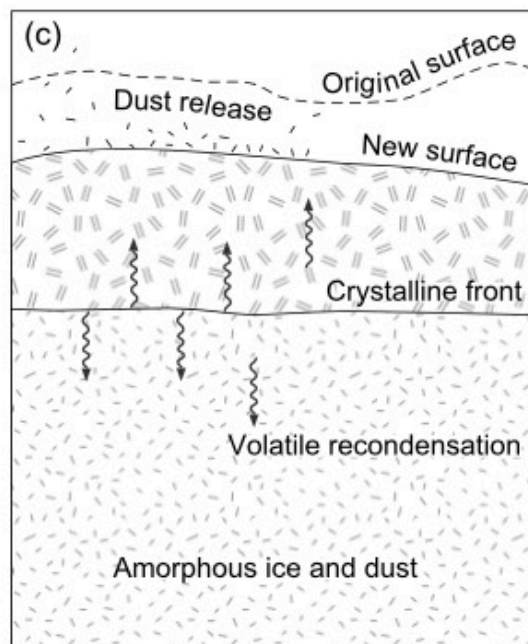
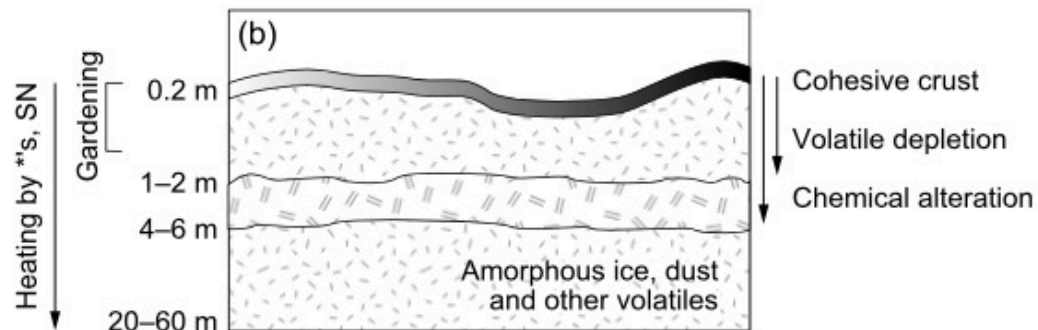
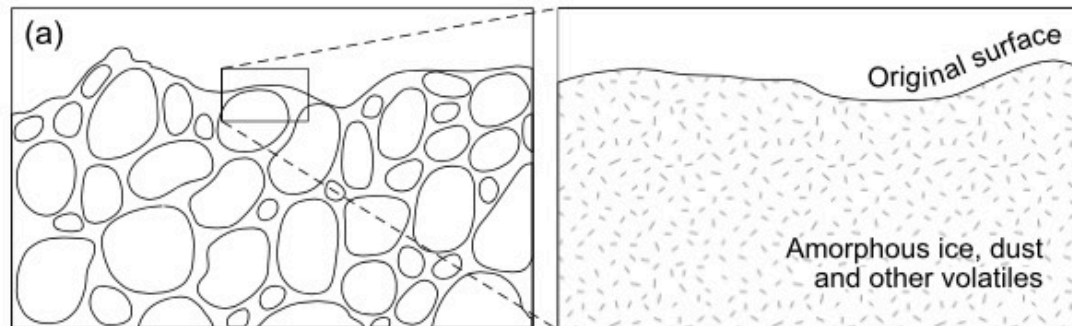
<http://www2.ess.ucla.edu/~jewitt/comet.html>

そうは言っても

彗星は彗星活動している



彗星核の表面

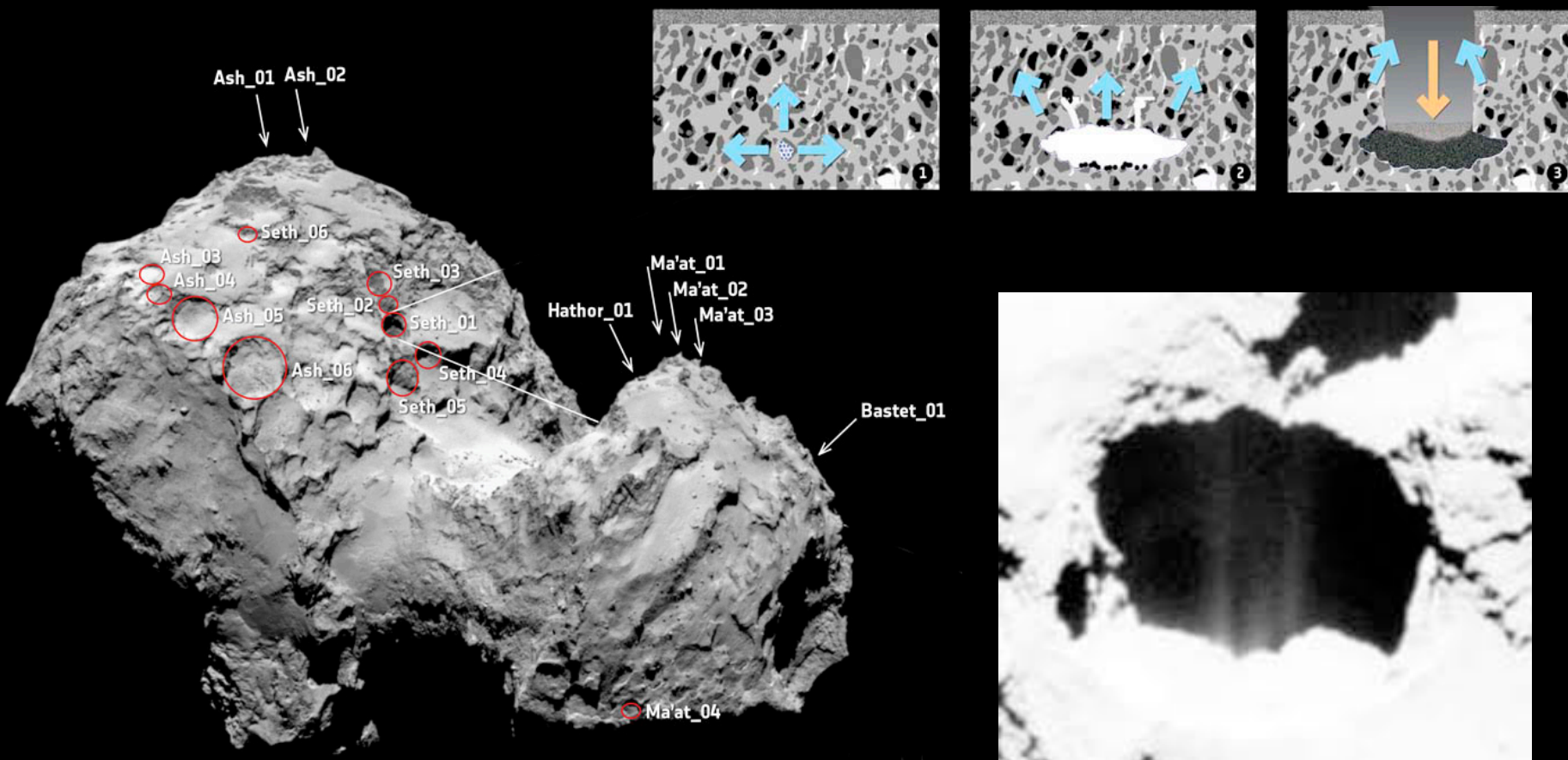


Meech & Svoren (2004)
from COMETS II

彗星核からの揮発性物質の昇華

(これまでは「明確な活動領域がある割合で表面に存在」と思っていた)

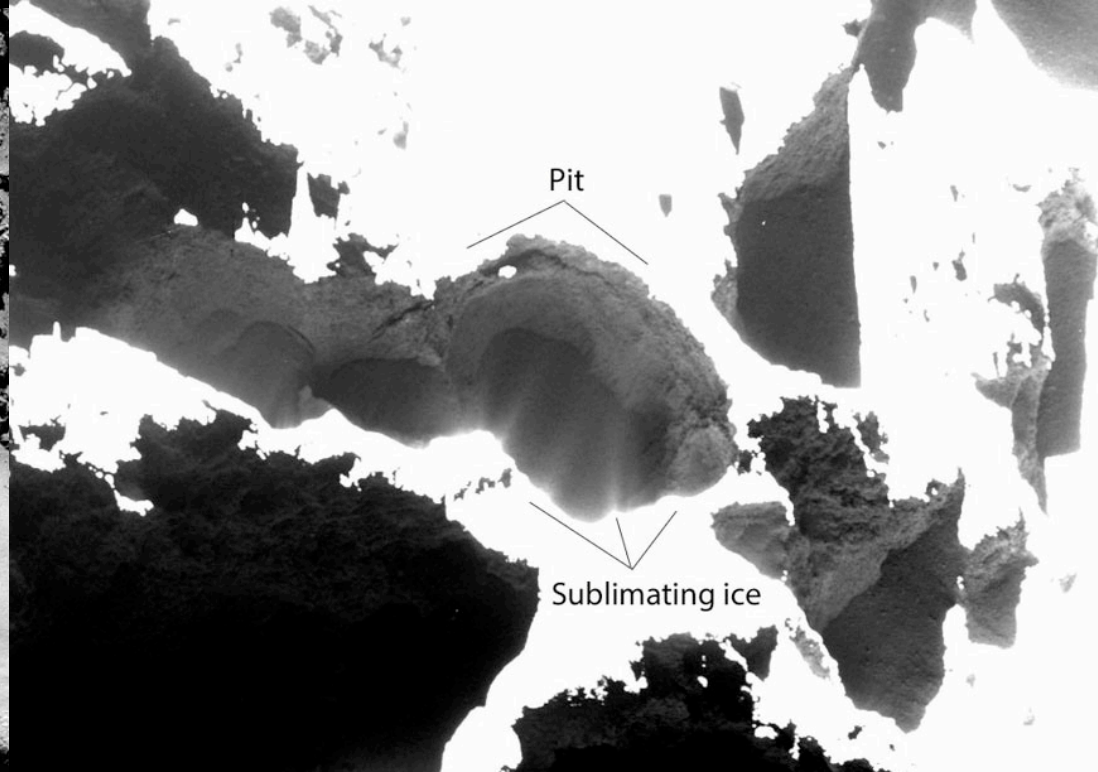
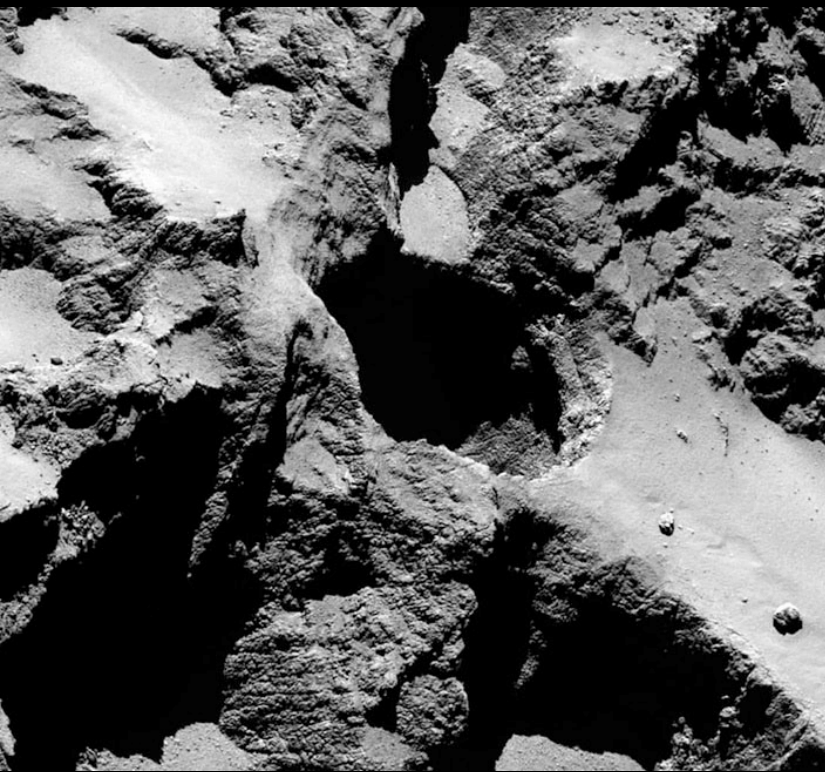
揮発性物質は表面下(と表面の小さな穴ボコ)から昇華



The pits were identified in OSIRIS images taken August–October 2014.

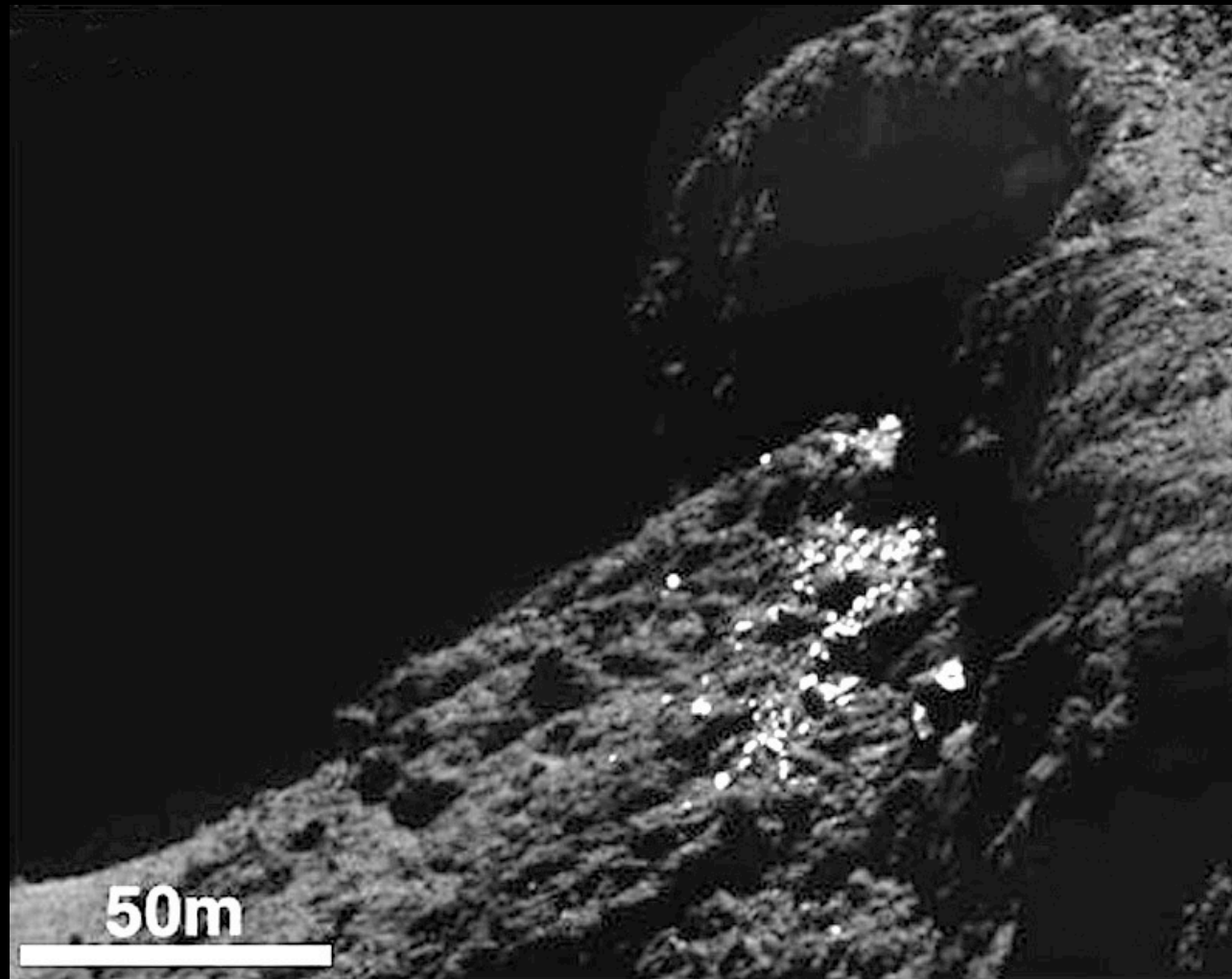
彗星核からの揮発性物質の昇華

ガスは、表面下(と表面の穴ボコ)から吹き出している



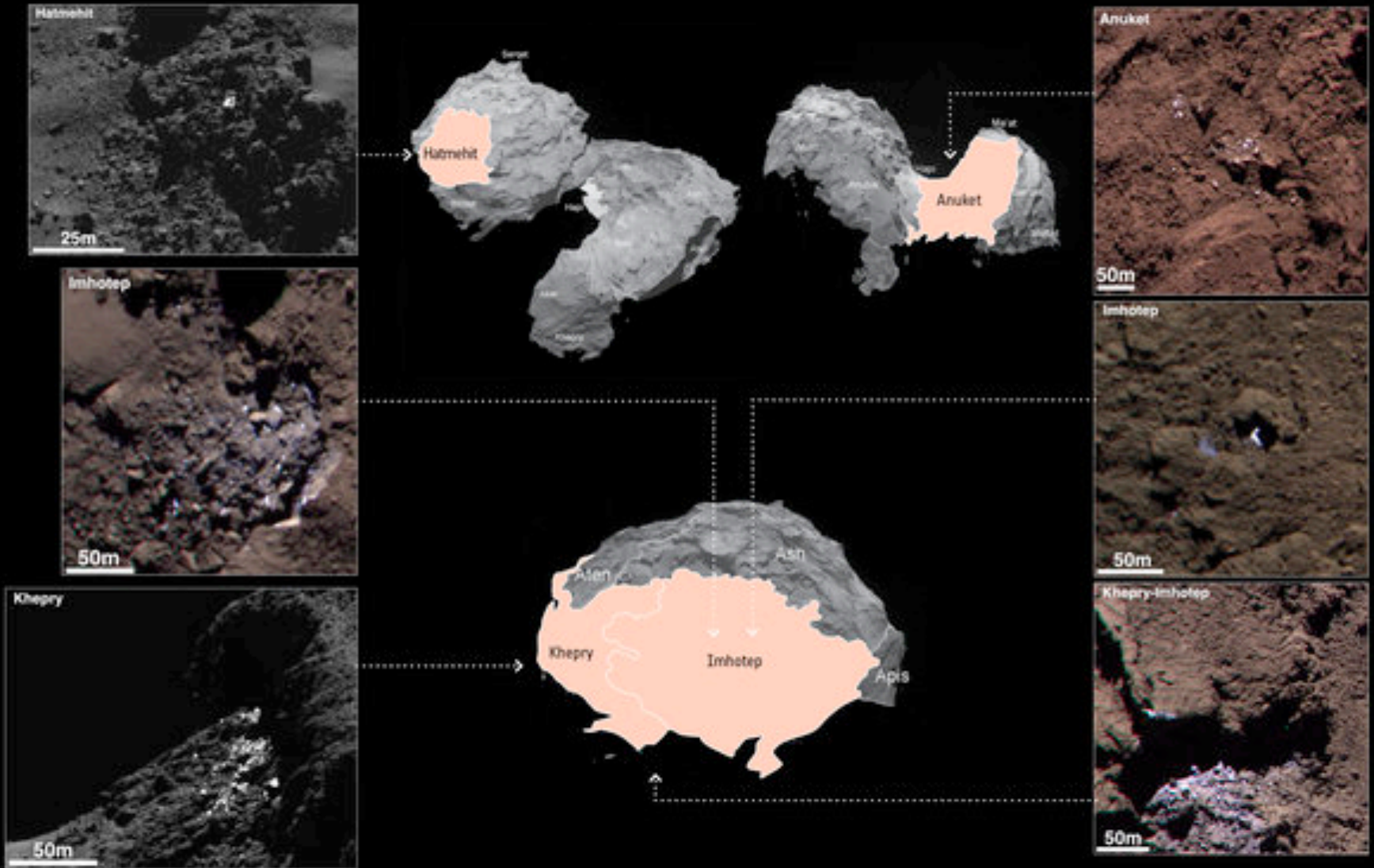
彗星は Dirty Snowball か?

表面に氷の露出もあるにはある...が



彗星は Dirty Snowball か?

表面に氷の露出もある...が

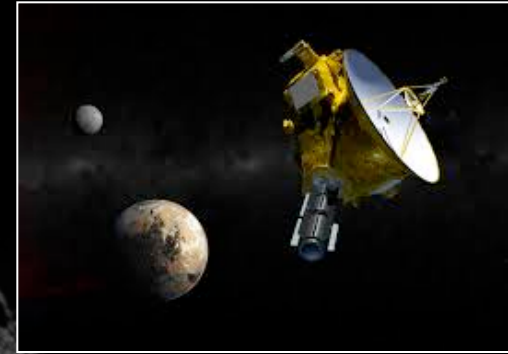
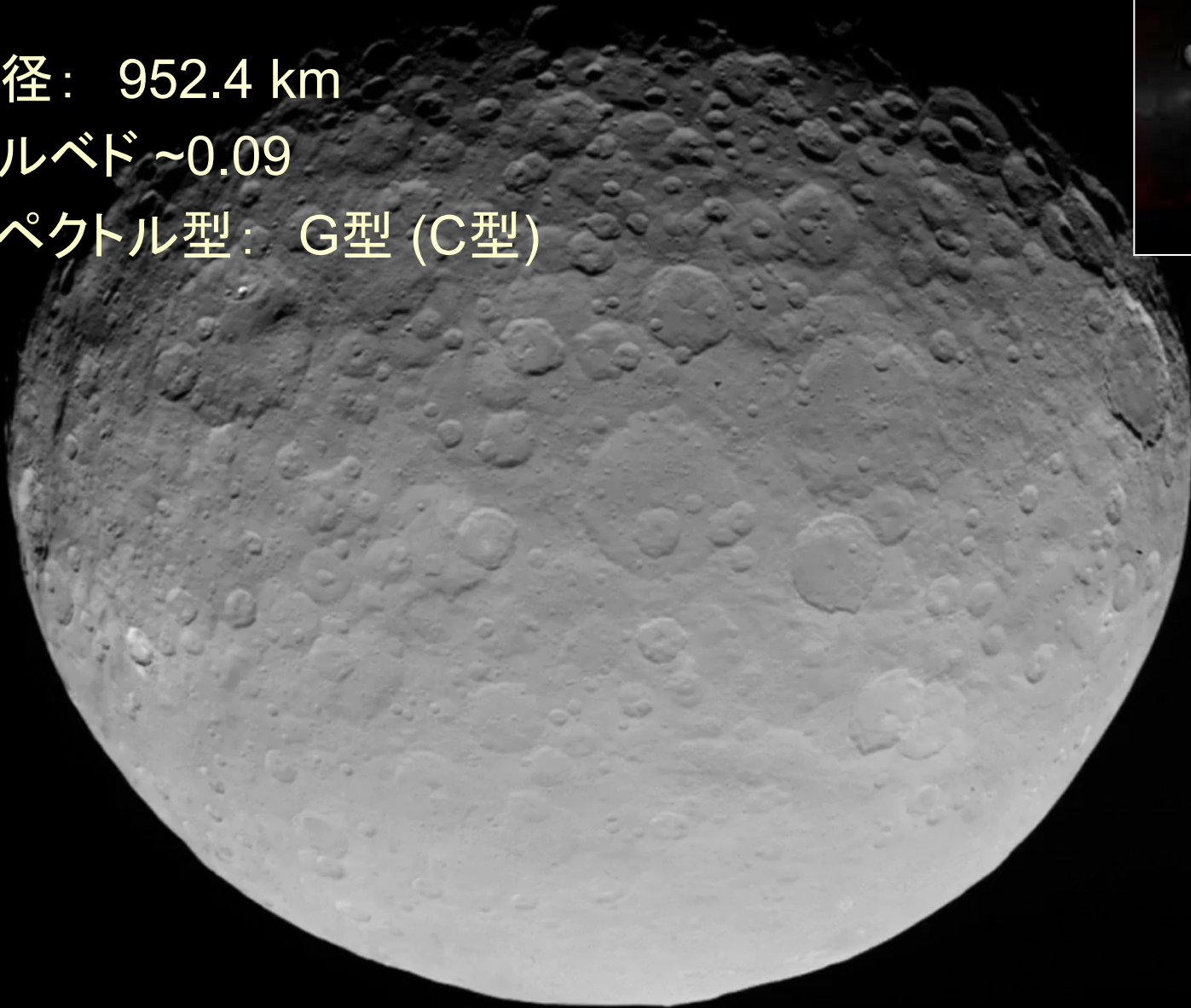


DawnによるCeresの撮像

直径： 952.4 km

アルベド ~0.09

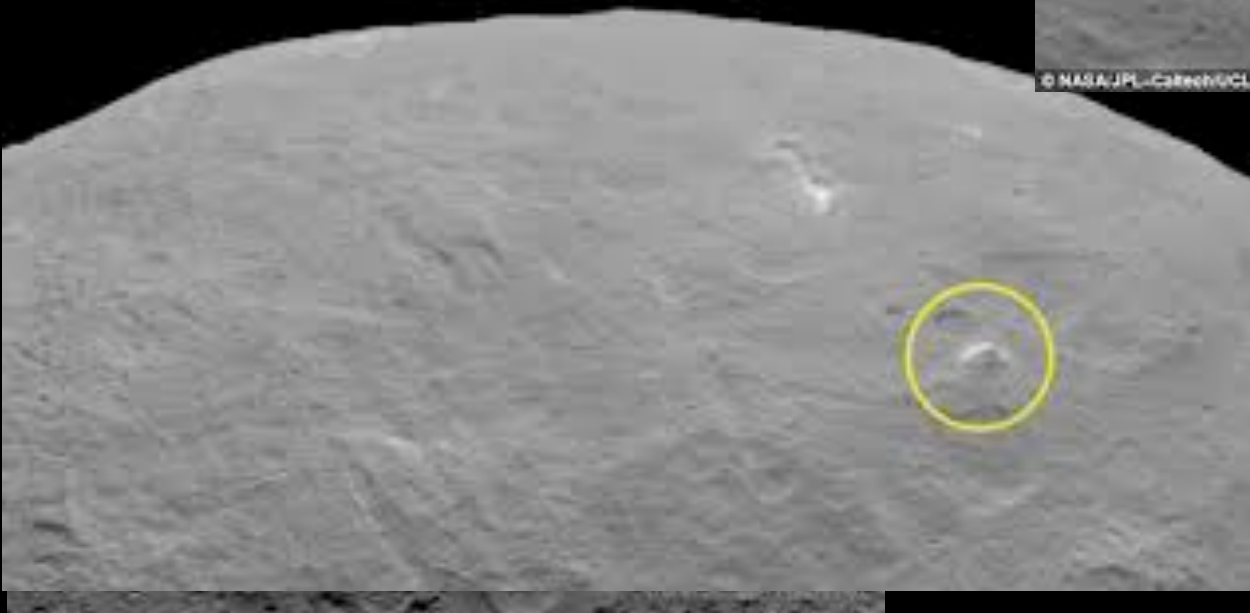
スペクトル型： G型 (C型)



Ceresは小惑星(岩石天体)か?

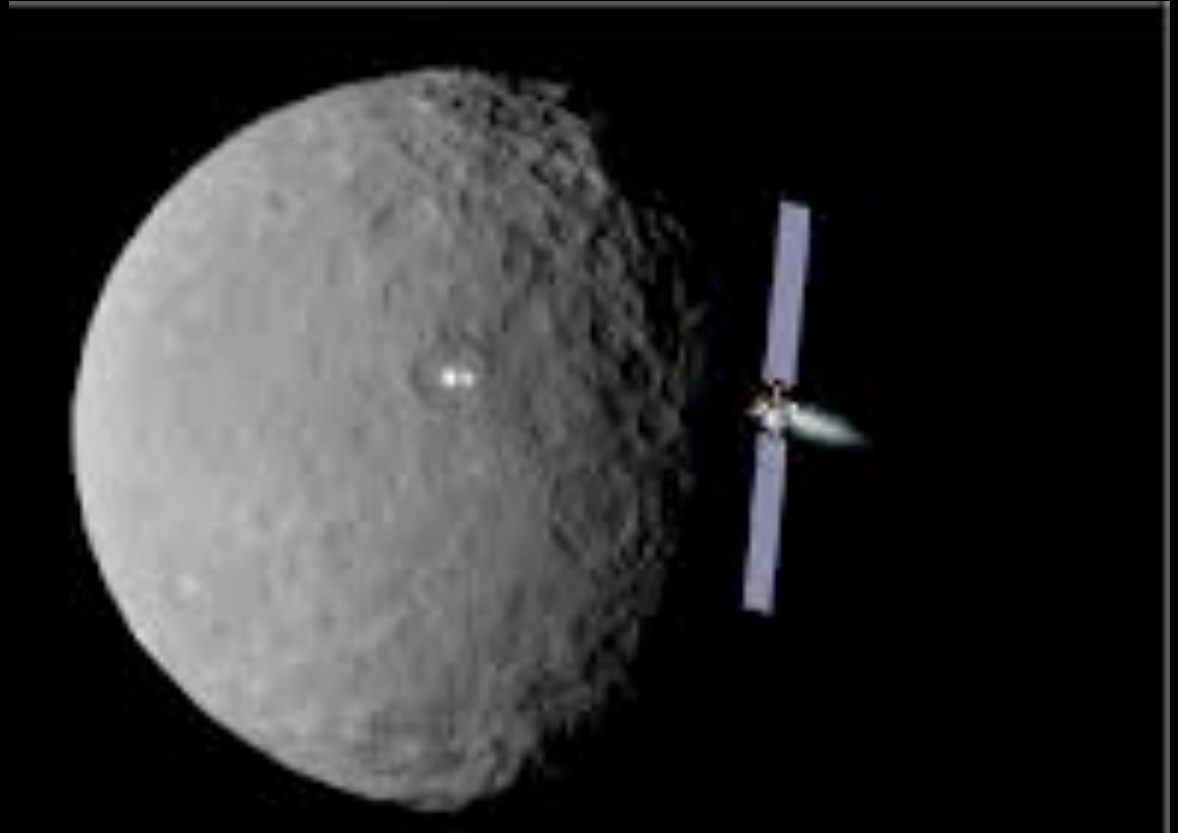
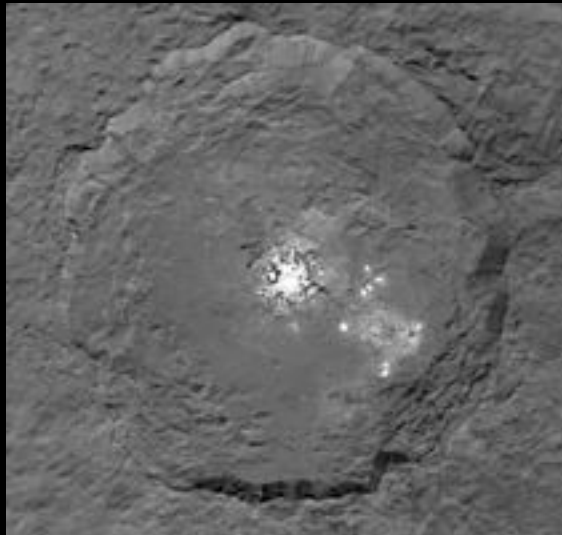
内部活動(地質活動)がある

→ 中は凍ってないところもあるのか!?



Ceresは小惑星(岩石天体)か？

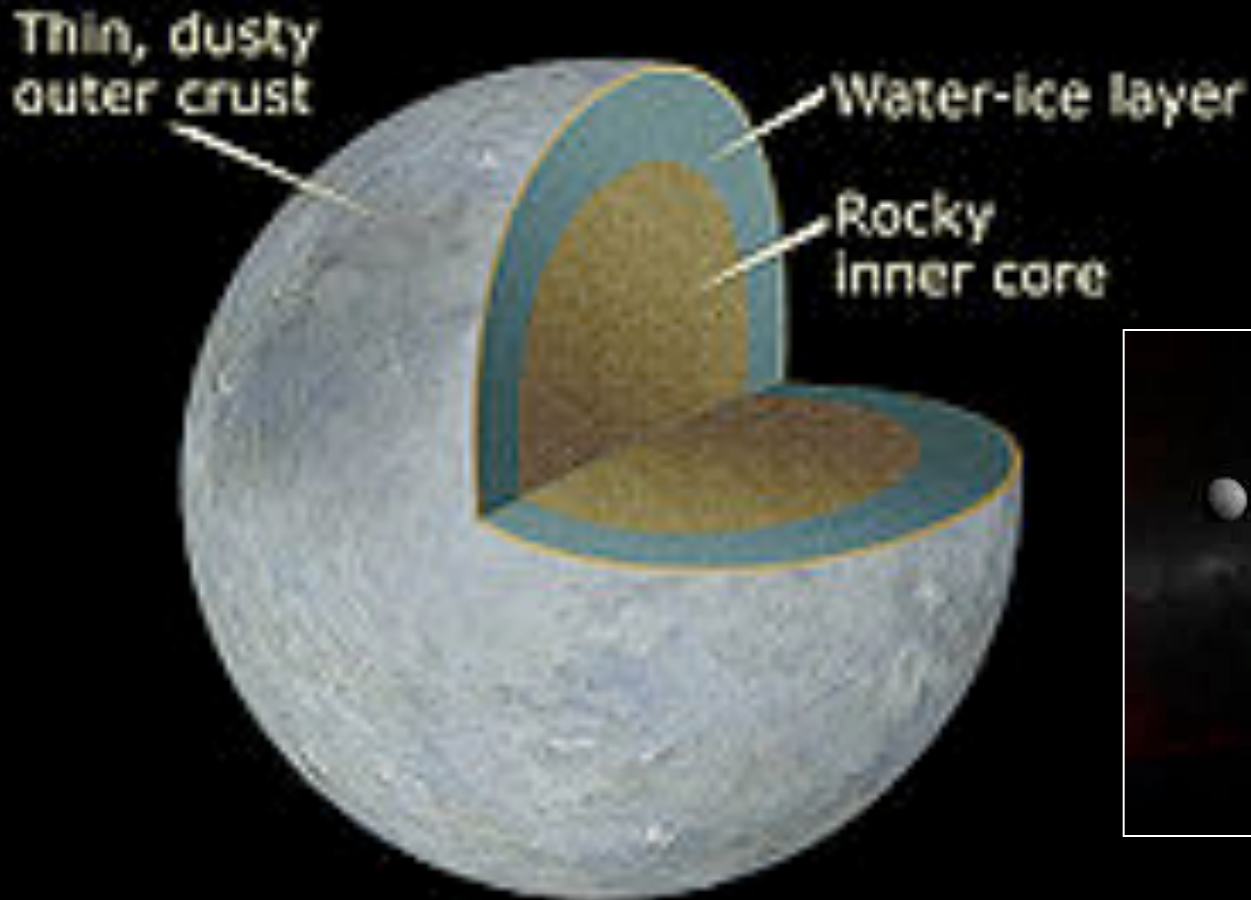
内部にはH₂Oがありそう



Ceresは小惑星(岩石天体)か？

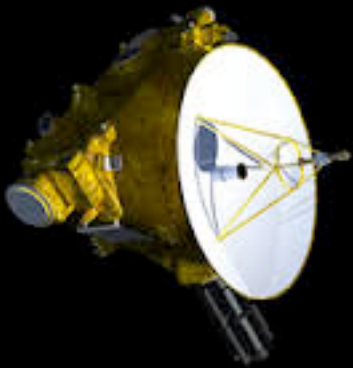
固体のH₂Oが存在していそう 液体まであるのか

Ceres' layers



冥王星は comet か？

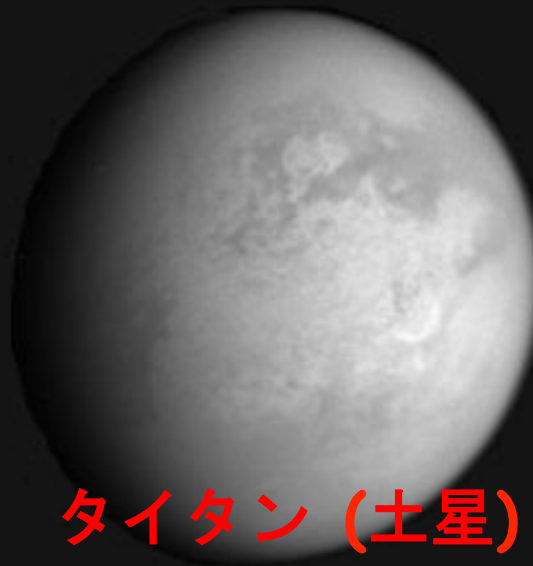
小惑星として小惑星番号 134340 が付与されている



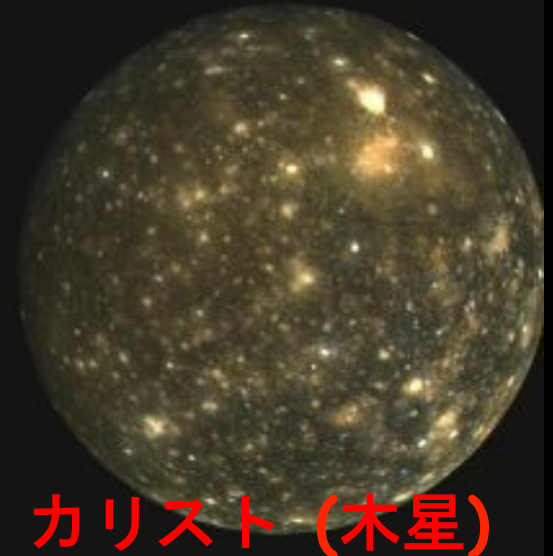
他の衛星と冥王星大きさ比べ



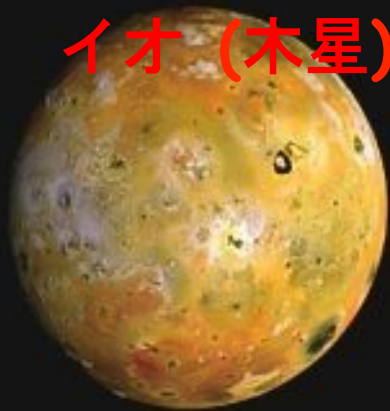
ガニメデ (木星)



タイタン (土星)



カリスト (木星)



イオ (木星)



月 (地球)



エウロパ (木星)



トリトン (海王星)

2000 km

Plutoの大きさ

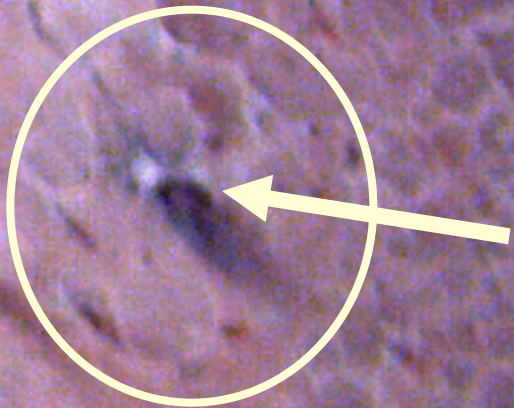
海王星の衛星 トリトン

海王星の重力に捕らえられた **かつてTNO?**

直径2000km以上の衛星では唯一
逆行軌道で惑星の周りを公転する衛星

ボイジャー2号による画像

トリトン 地質活動



噴火（噴出）

Triton's Plume
(Voyager 2, NASA)

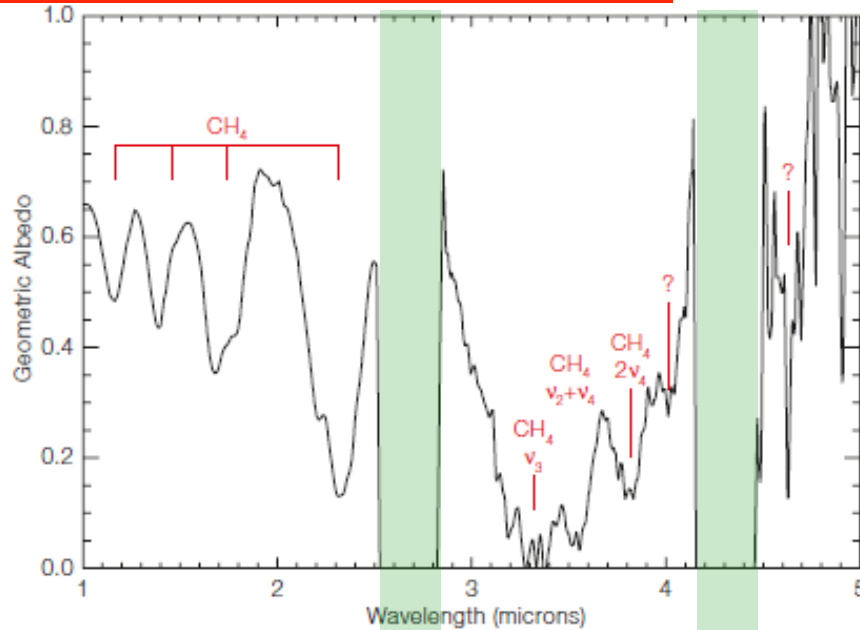
Triton (D~2700km): the biggest TNO?



plume activity

retrograde orbit: captured satellite
originally from Kuiper Belt

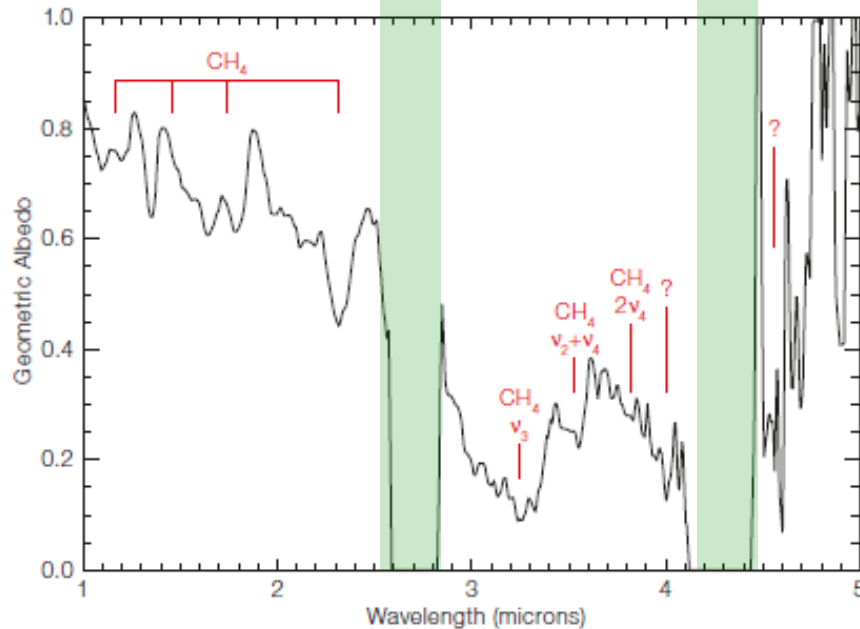
Surface: covered with Interior material



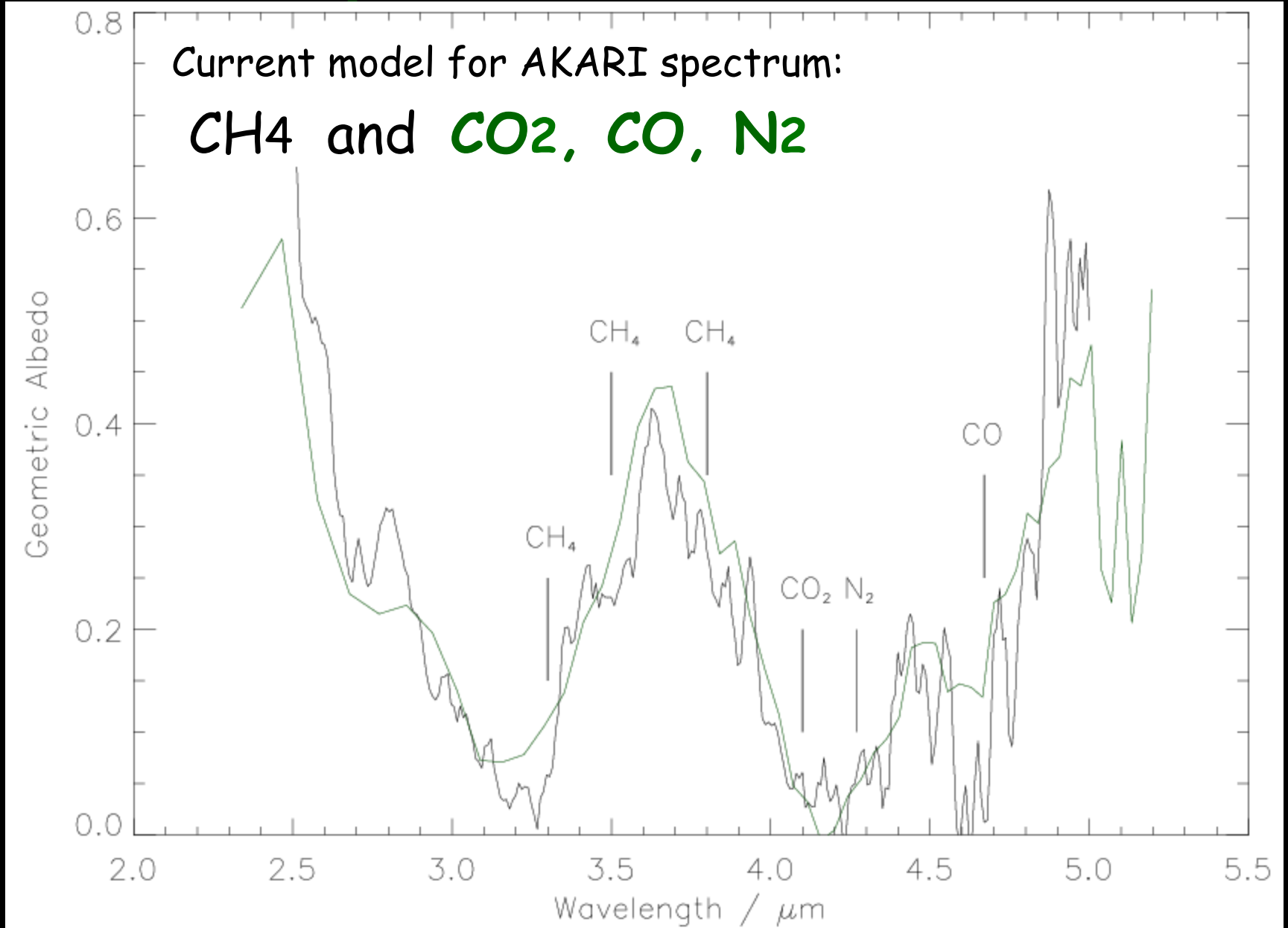
Pluto's near-IR spectrum

メタンの吸収

Triton's near-IR spectrum

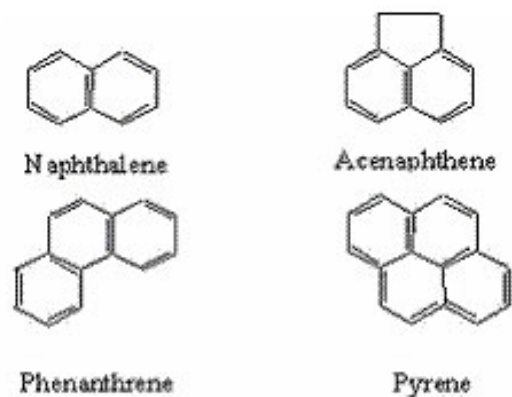
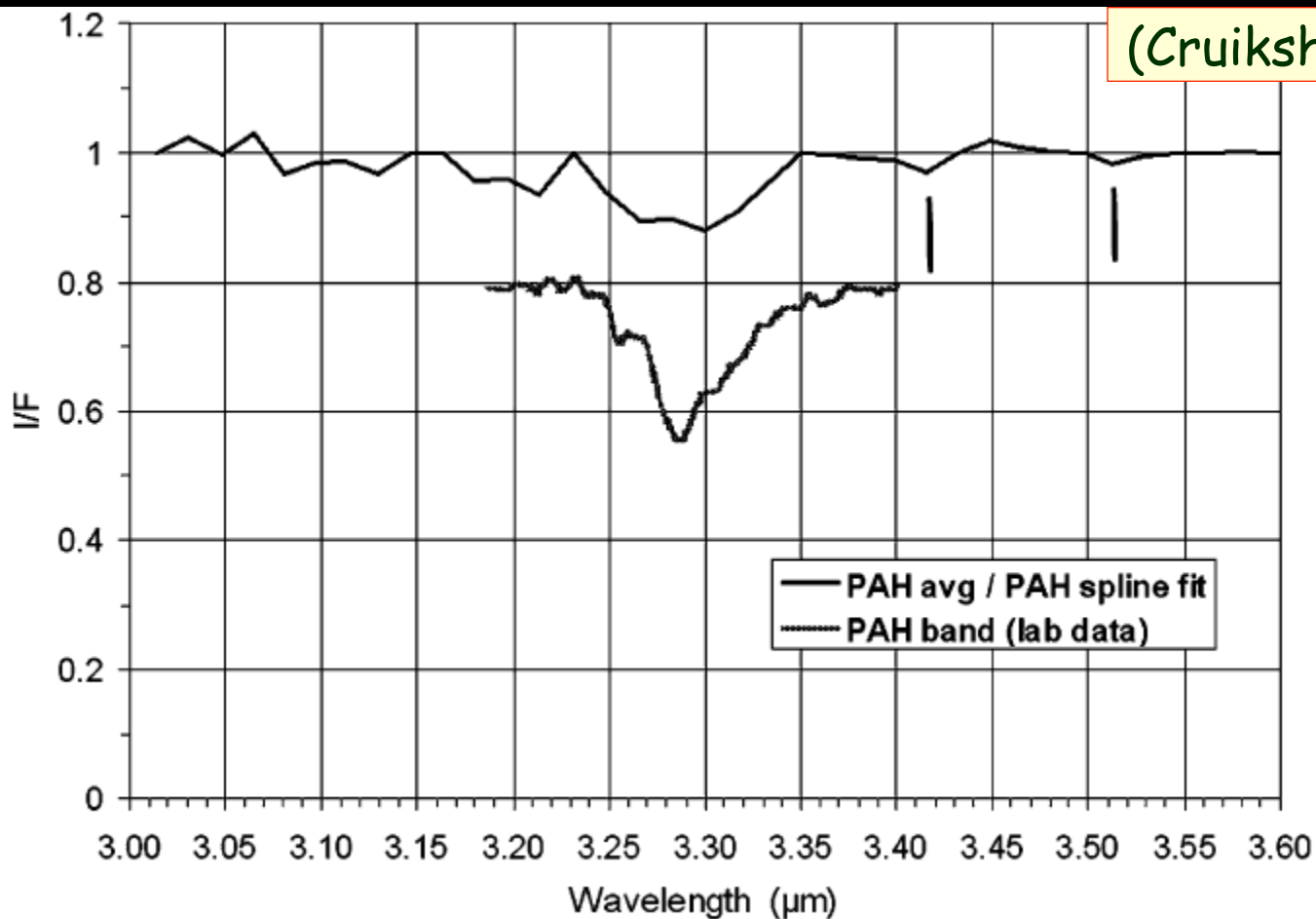


Triton spectrum with AKARI/IRC

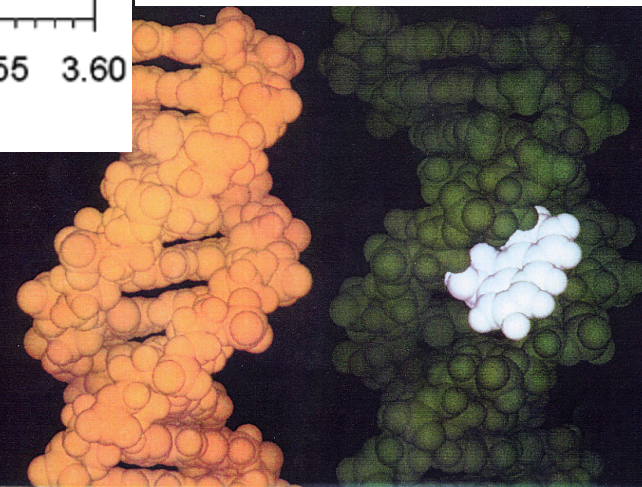


カッシーニ探査機による土星の氷衛星Iapetusの観測

(Cruikshank et al. 2008)



PAH (多環芳香族炭化水素) の
C-H伸縮の振動吸収バンドの検出



Pluto ~ TNOsの中でも最大級のもの



Pluto

Dysnomia



Eris



Makemake

Namaka



Hi'iaka

Haumea



Sedna



2007 OR₁₀

Weywot

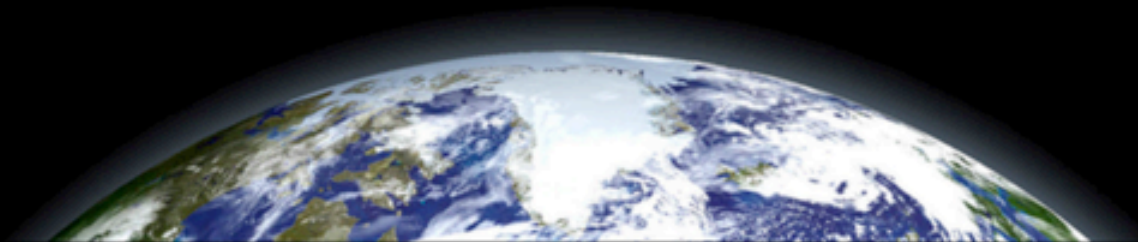


Quaoar

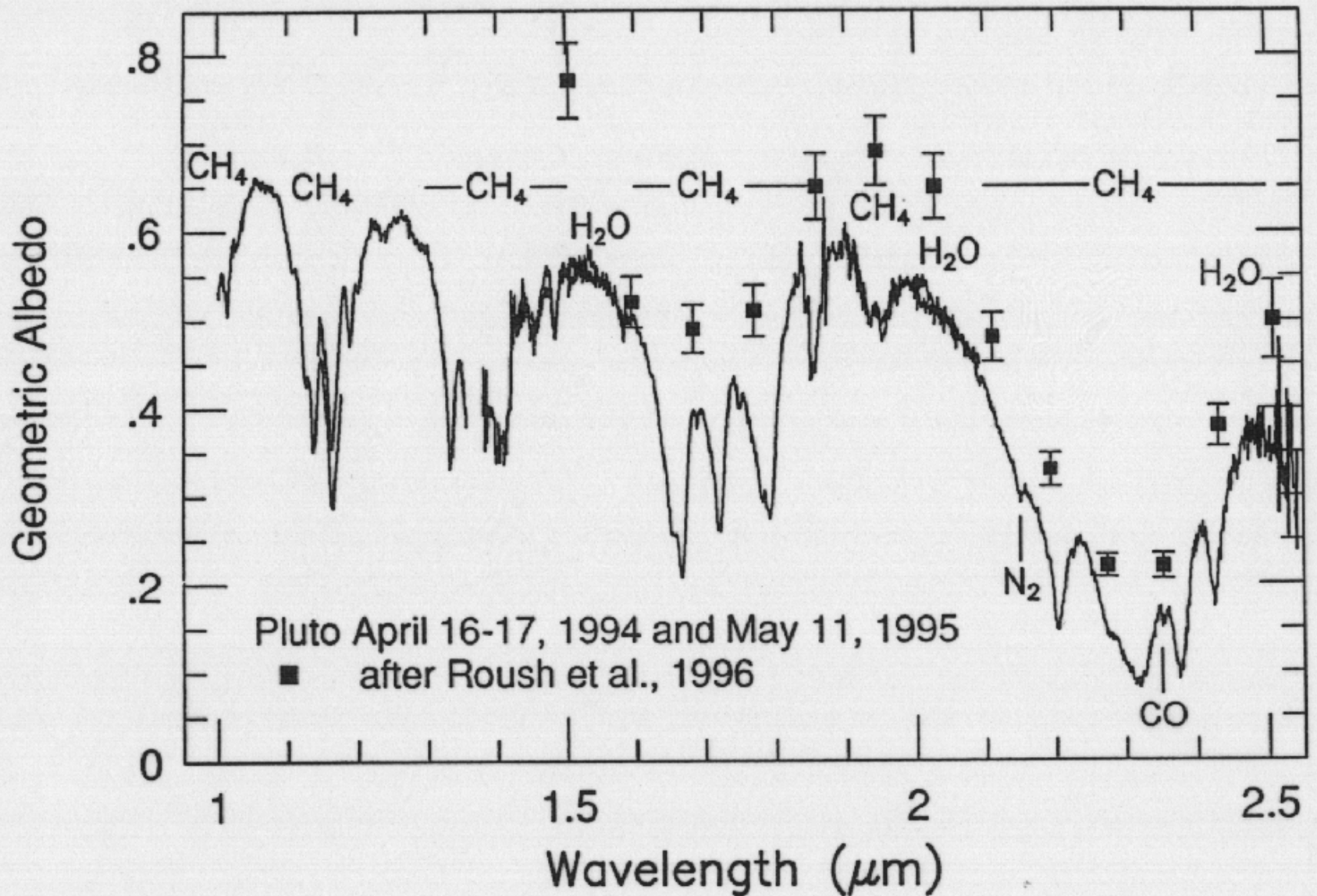


Vanth

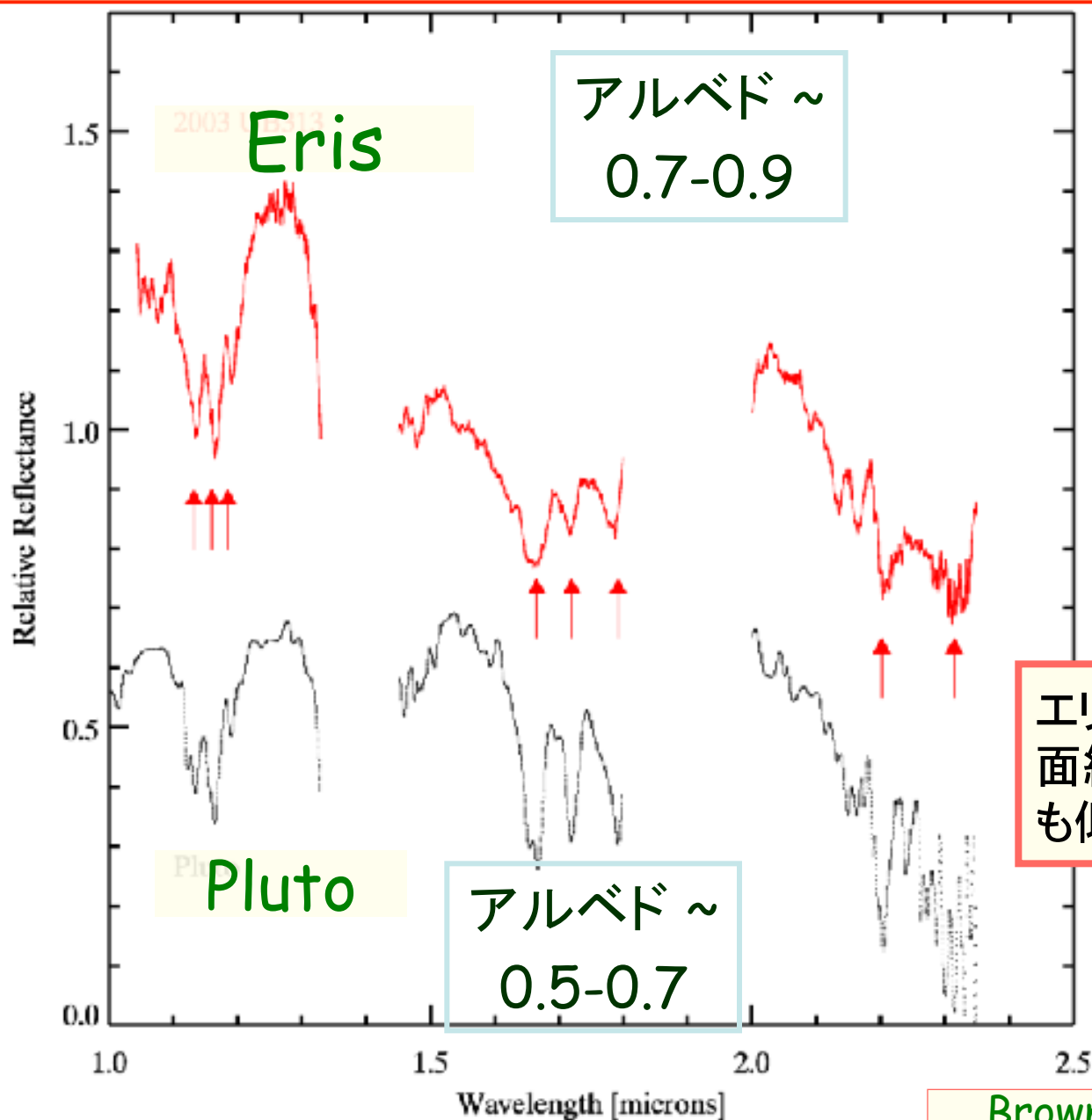
Orcus



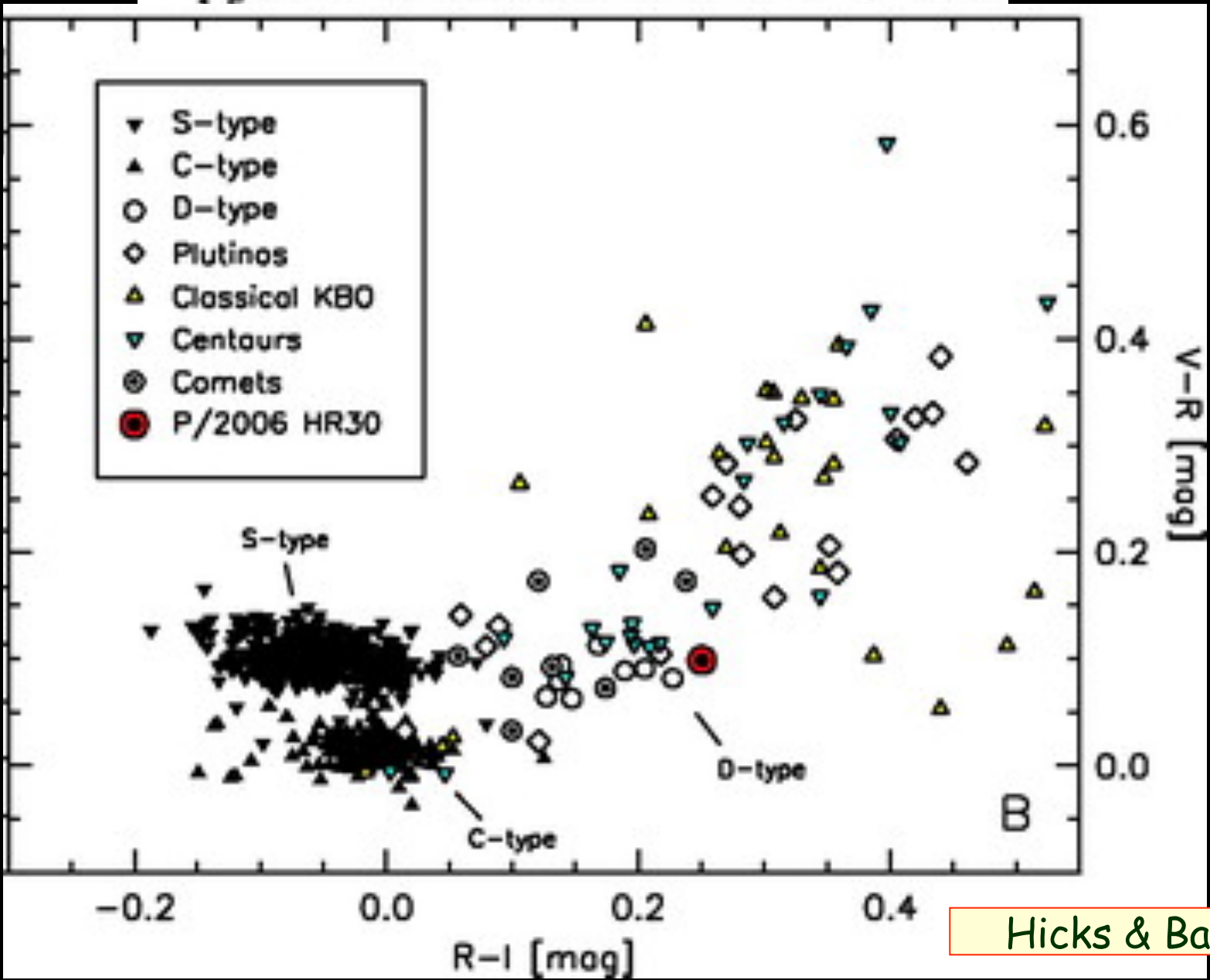
JHK Spectroscopy: Pluto



準惑星エリスの近赤外線スペクトル (Keck)

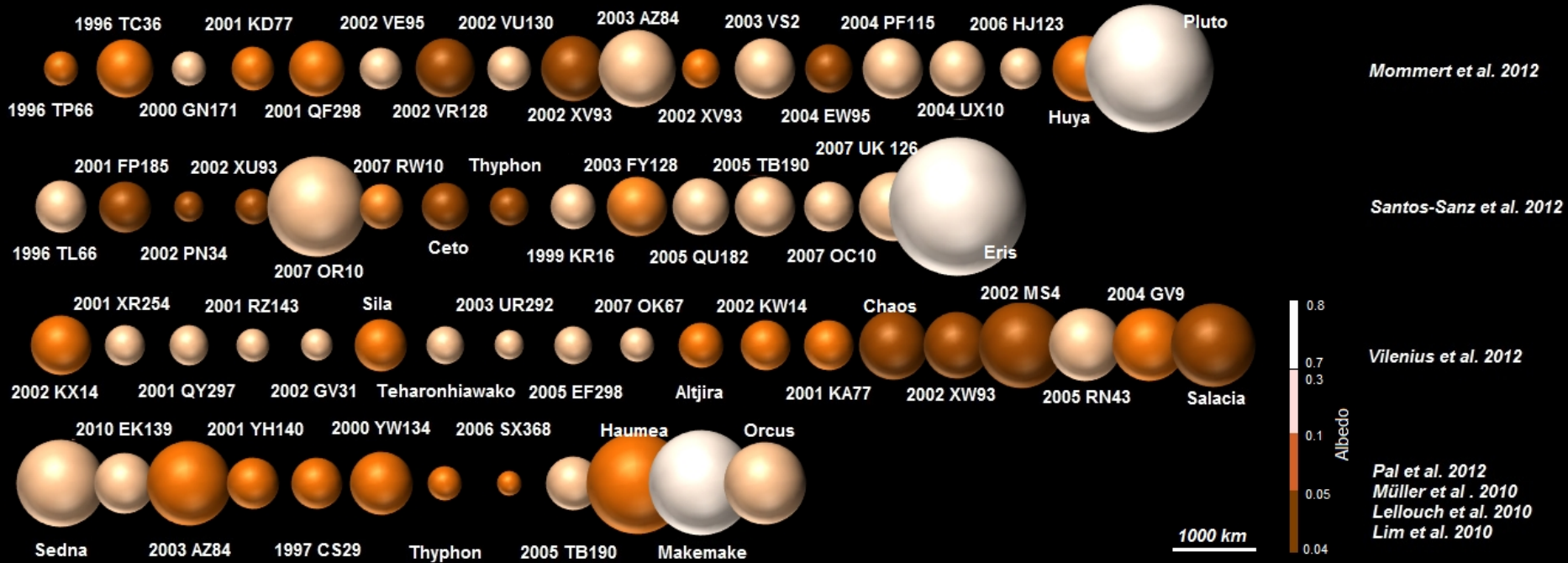


TNOsは D型小惑星より赤いものも



Hicks & Bauer. 2007

ハーシェル宇宙望遠鏡によるTNOsのサイズとアルベド (70, 100, 160, 250, 350, 500 μm 遠赤外線)



幾何学アルベド

しろ: 0.7 - 0.8
薄オレンジ: 0.1 - 0.3
オレンジ: 0.05 - 0.1
赤黒: 0.04 - 0.05

Mommert et al. 2012
Santos-Sanz et al. 2012
Vilenius et al. 2012
Pal et al. 2012
Mueller et al. 2010
Lellouch et al. 2010
Lim et al. 2010

遠赤外線衛星 ハーシェル宇宙望遠鏡

Herschel Space

Observatory:

打上げ 2009年5月14日

運用終了 2013年4月29日

望遠鏡口径 **3.5m**

ラグランジュL2軌道

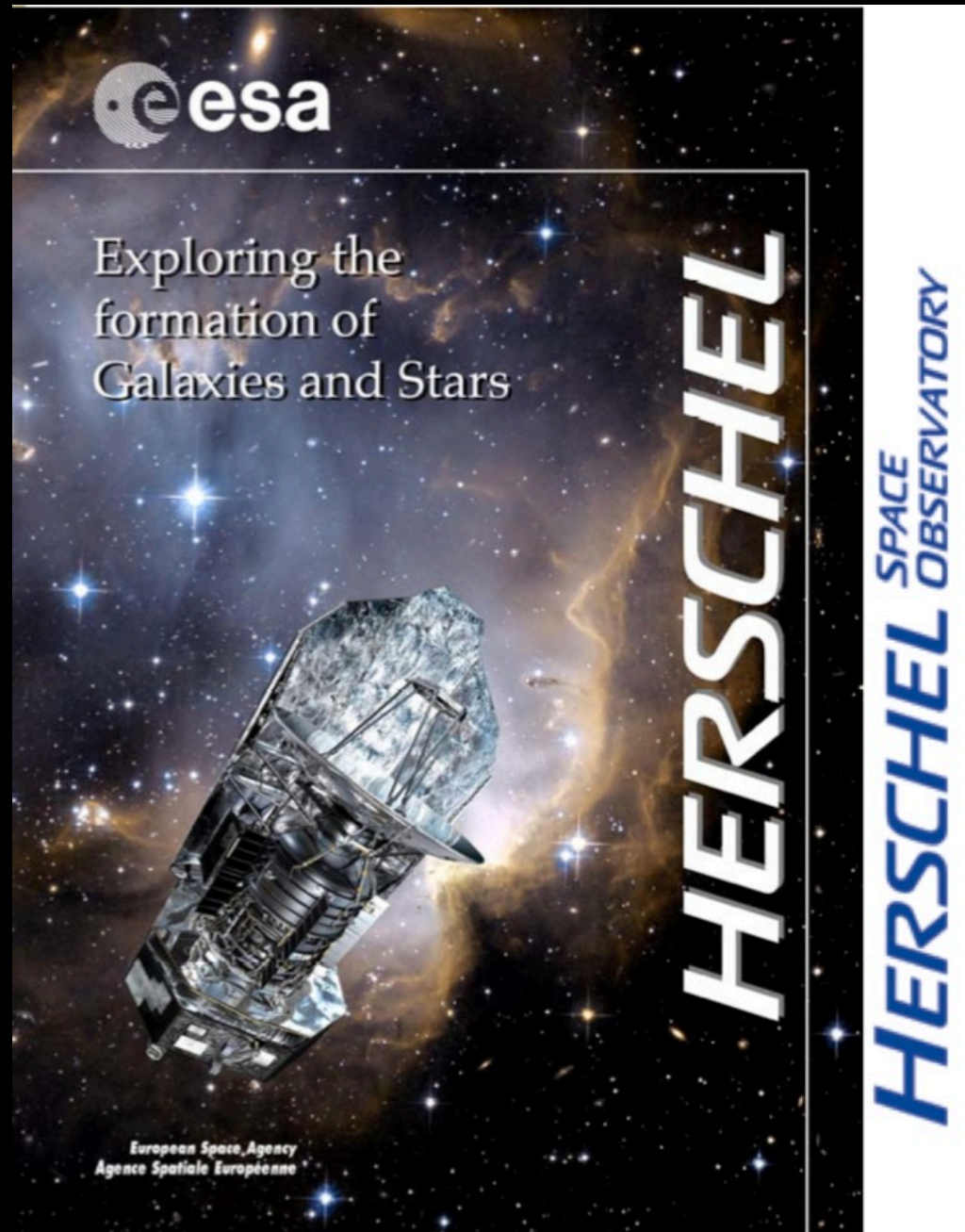
観測波長60-670 μm

最大の宇宙望遠鏡

「あかり」と Herschel

0.67m 3.5m

集光力 **~30倍**



土星の衛星エンケラドスは彗星か？

地質活動(ガス噴出)をする小型(500km)衛星

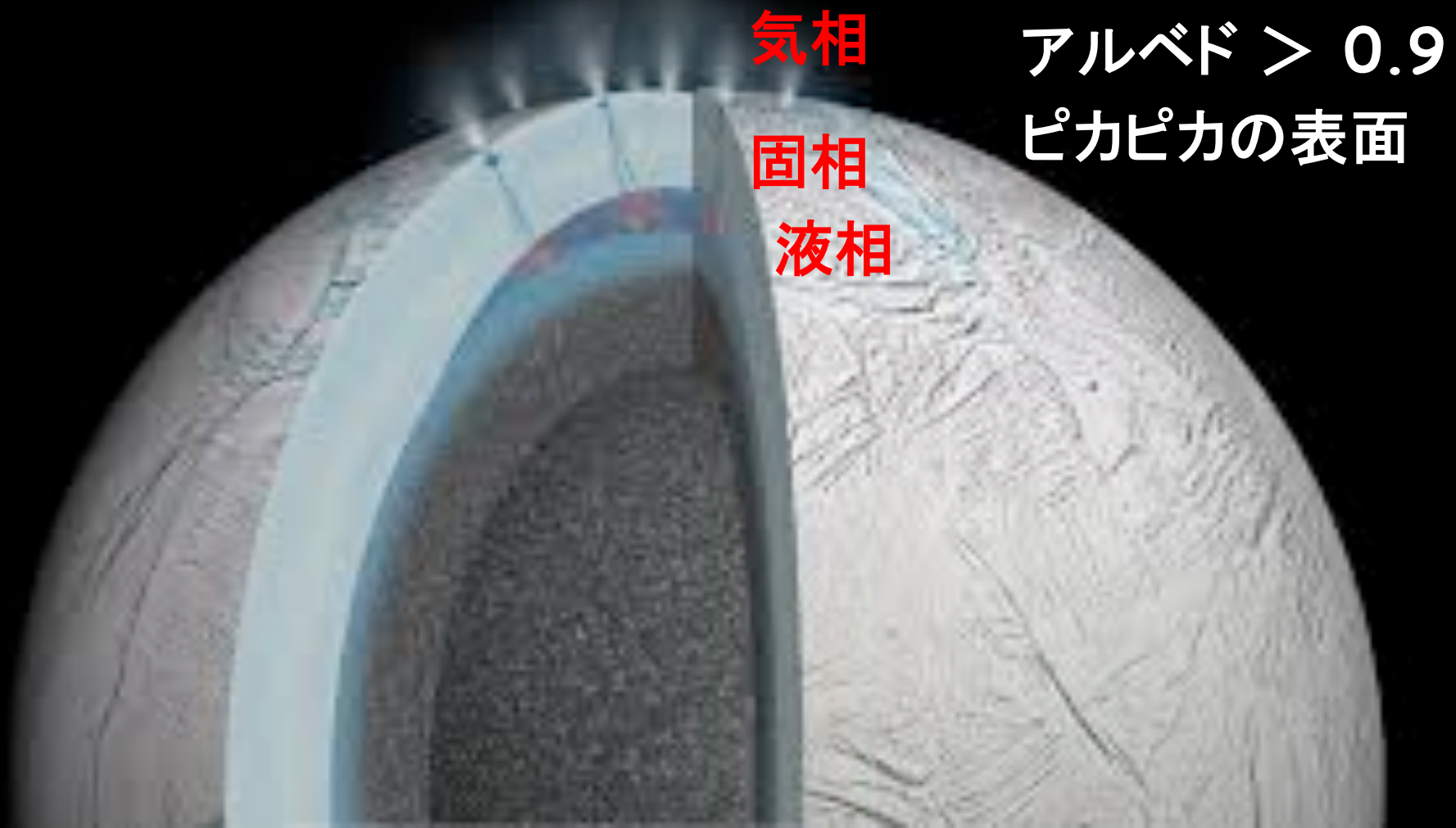
H₂Oが気相・液相・固相で存在する

アルベドは90%を超える！ → まさに新雪

エンケラドスが一番彗星っぽいんじゃない？？

土星の衛星エンケラドスは彗星か？

エンケラドスが一番彗星っぽいんじゃない？？

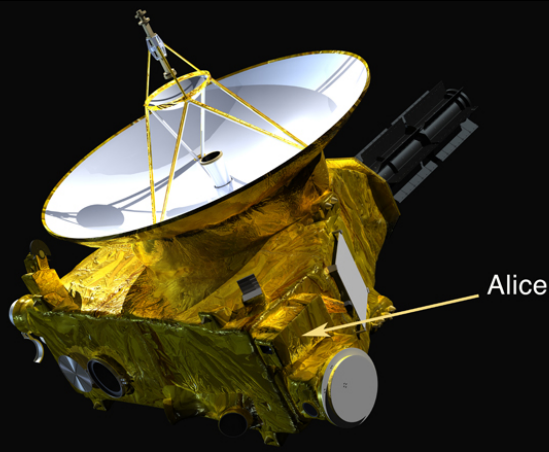


冥王星のサイズ見積もり: Before & After New Horizons

| | | |
|------------------------|---|-------------------------|
| HST imaging | = | 1160 ± 12 km (1994) |
| Stellar Occultations | = | 1180 ± 5 km (1993) |
| Speckle interferometry | = | 1350~1730 km (1987) |
| Charon Mutual Event | = | 1178 ± 23 km (1994) |

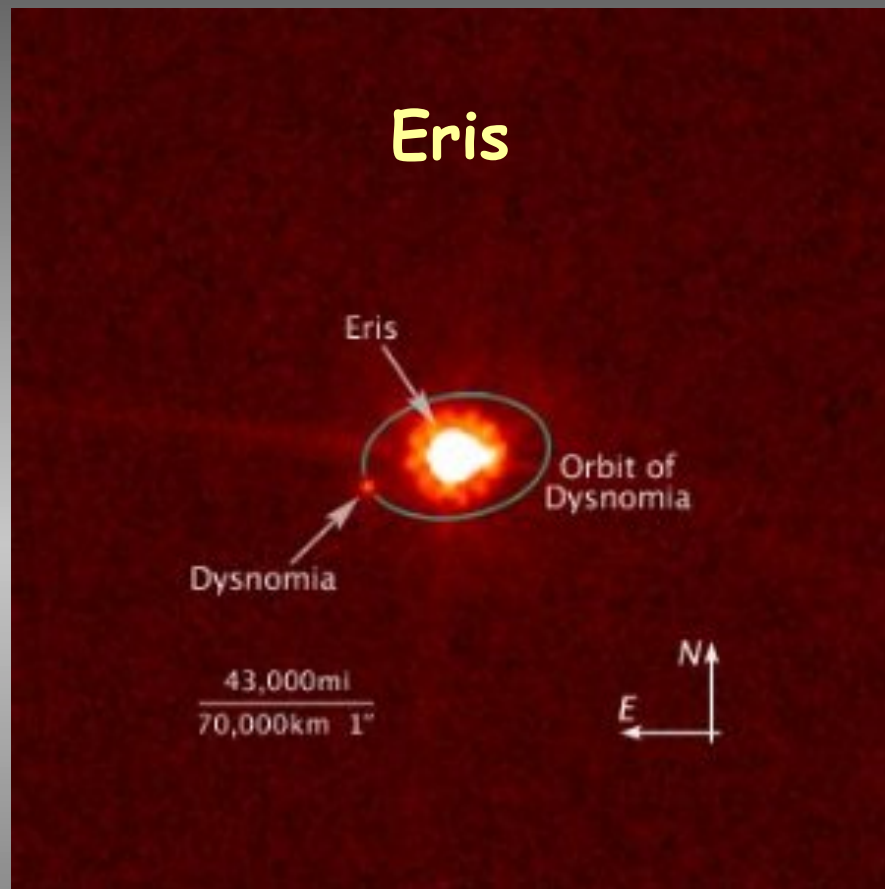
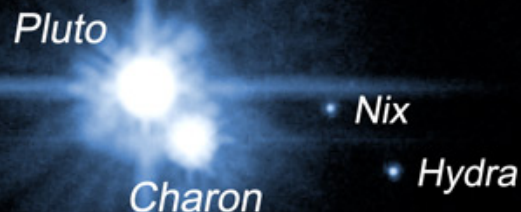
半径

New Horizons = 1185 km



Pluto System ■ February 15, 2006
Hubble Space Telescope ■ ACS/HRC

Pluto



Dwarf Planet Eris and Satellite Dysnomia ■ August 30, 2006
Hubble Space Telescope ■ ACS/HRC

NASA, ESA, and M. Brown (California Institute of Technology)

STScI-PRC07-24

Size determination of Eris with HST

Brown et al. 2006 ApJ

Diameter: 2400 \pm 100 km

Geometric Albedo: $P_v = 86\% \pm 7\%$



Image is smaller than 2 pix. of HST-CCD!!

Pixel Size of HST: 0.027 arcsec.
→ 1875km

Image Size of Eris: 0.034 arcsec.
→ 2400km

Deconvolution technique

TMT:
0.015"@K

ALMA~0.01"
(長基線・短波長)

小惑星のサイズ測定: 「赤外線」観測と「探査機」の答え合わせ

小惑星 (観測: 直径)

ガスプラ (IRAS: 16km)

イダ (IRAS: 33km)

マチルダ (IRAS: 61km)

エロス (UKIRT: 24km)



Eros

Gaspra

Ida

サイズ導出に, 天体形状の効果・自転は考慮していない

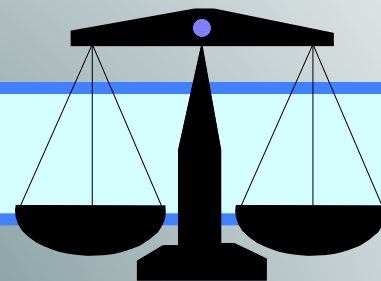
シンプルSTM: traditional Standard Thermal Model

Mathilde

50 km

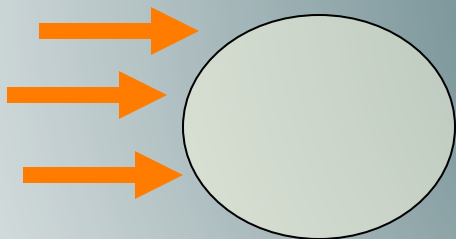
小天体のサイズとアルベドを同時に求める

エネルギーバランス

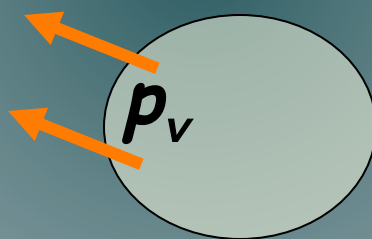


1) [太陽放射] - [反射光] = [小惑星の熱放射]

[太陽定数]



[アルベド]

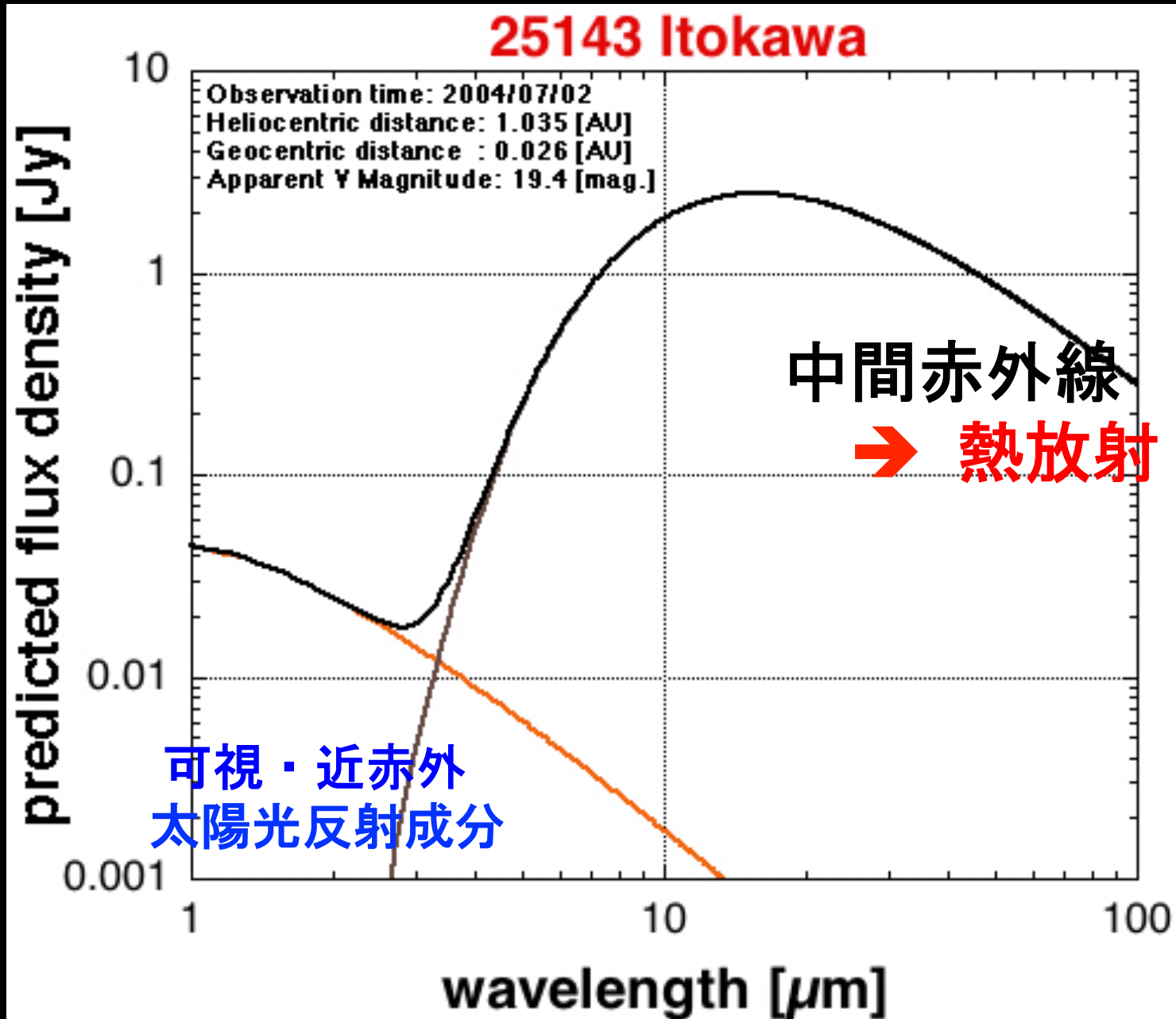


[表面積]



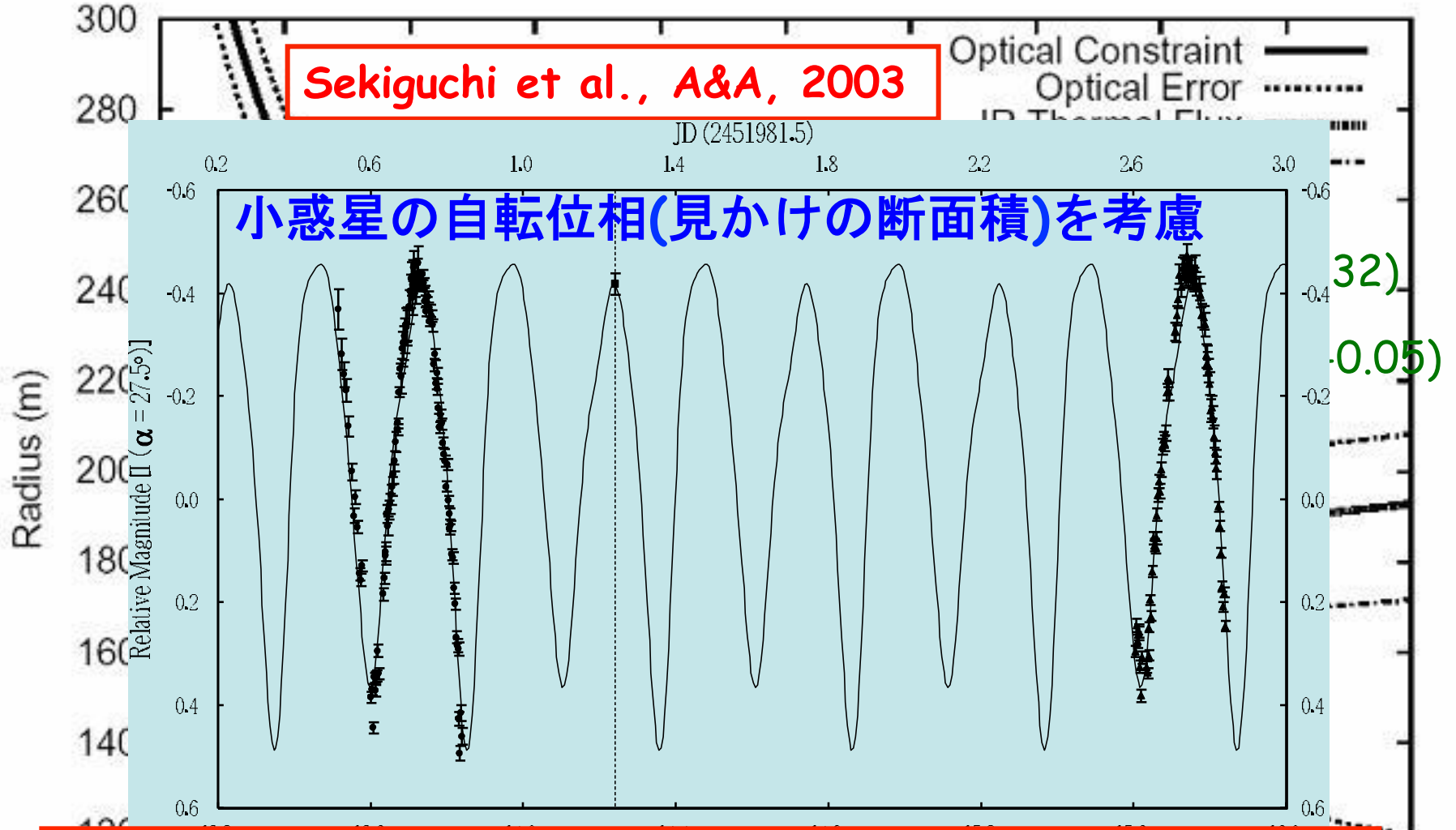
2) (太陽光反射フラックス) $\propto \pi r^2$ [断面積] \times [アルベド] p_v

中間赤外線観測 ⇒ 熱放射の観測



Itokawaのサイズとアルベドの導出

Sekiguchi et al., A&A, 2003



天体の自転位相と太陽位相角を考慮した
 $352 \pm 30m$ → 実際の **$322m$** と誤差内で一致 (**9%大**)
一回の観測データのSTMによる解析の結果

TPM: ThermoPhysical Model of 951 Gaspra



Mueller & Lageros, 2002

- エネルギーバランス (太陽光入射 = 表面反射 + 熱放射)
- 観測時の幾何学的位置関係、距離、位相角

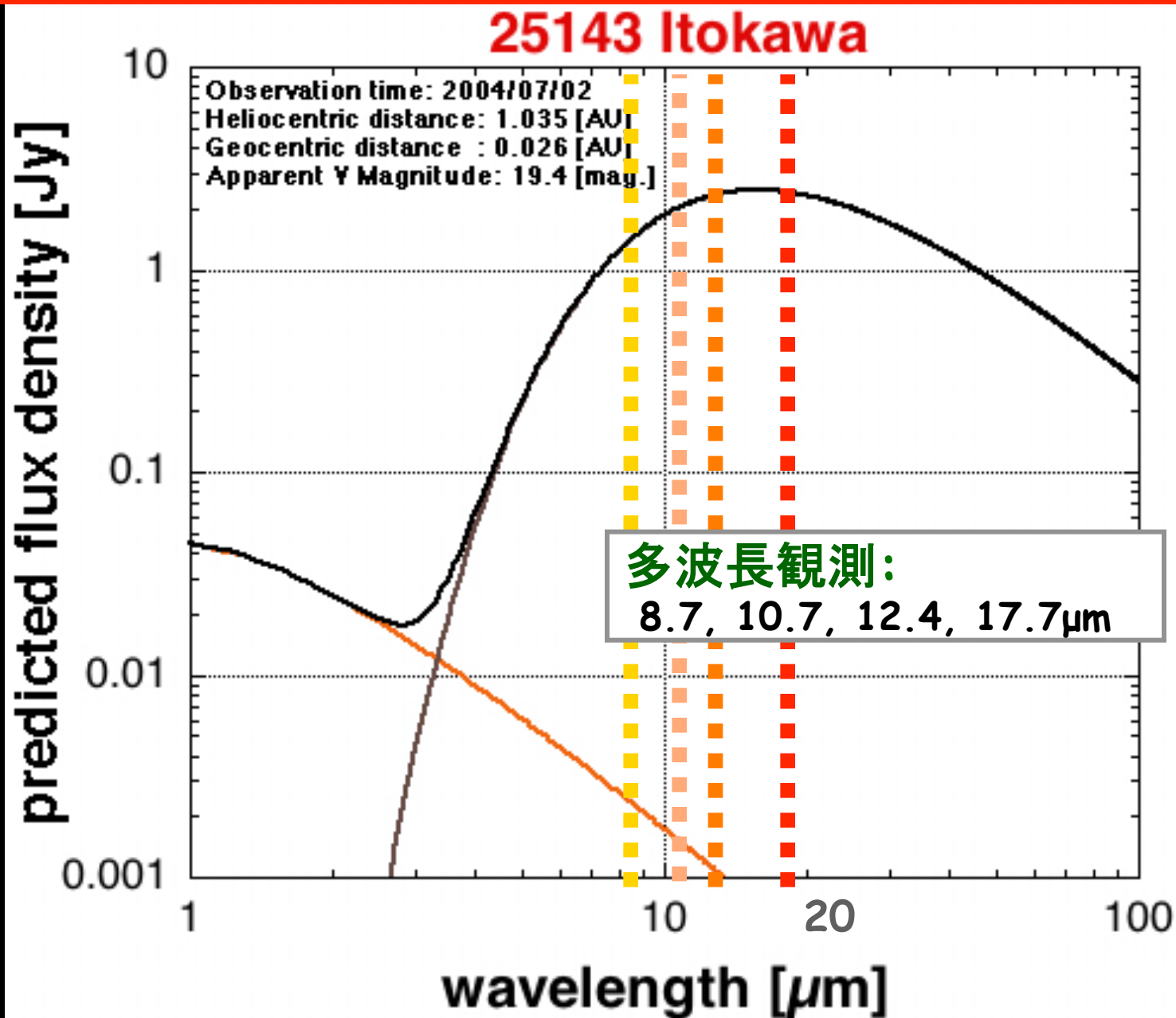
- 自転位相

- 小惑星の形状モデル
- 回転軸、回転ベクトルと自転周期
- 表層の熱伝導特性 (1次元熱伝導、熱慣性、二次元分布)

中間赤外線観測



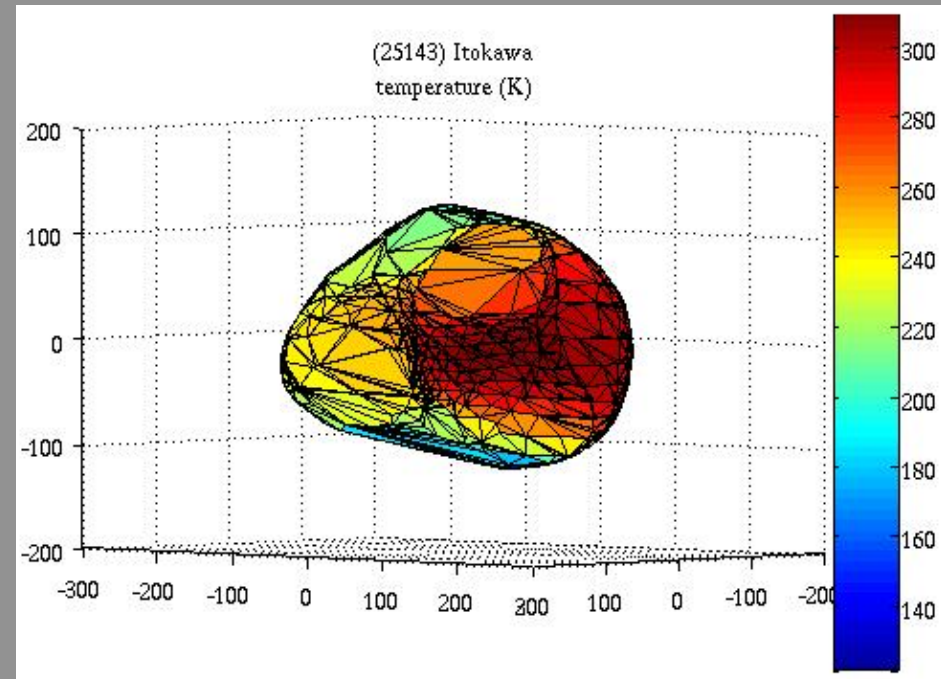
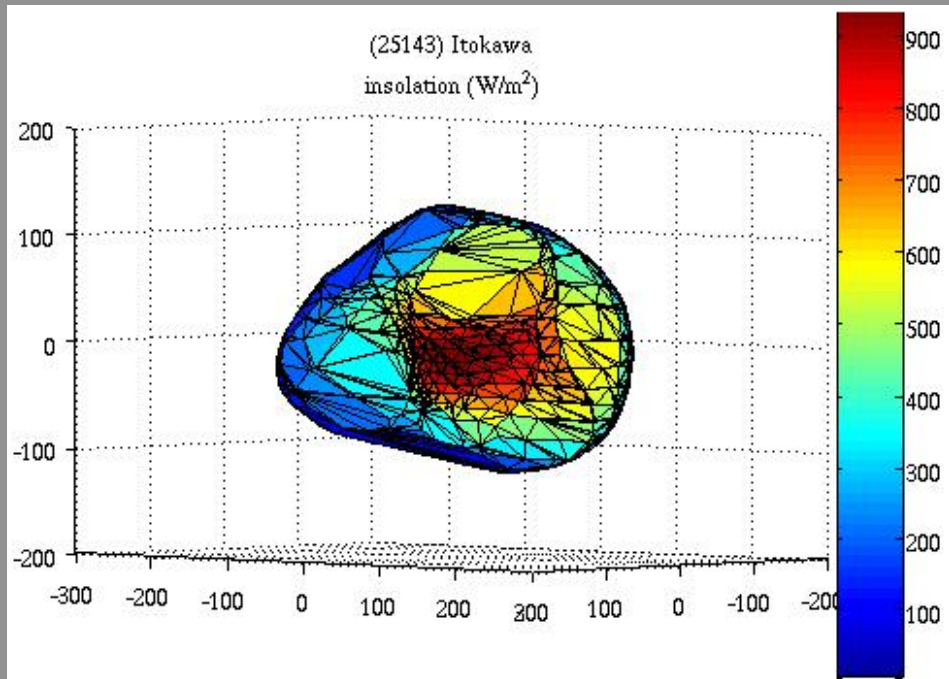
熱放射の観測



Itokawa の ThermoPhysical Model

太陽光入射フラックス

入射光と自転に対する温度分布

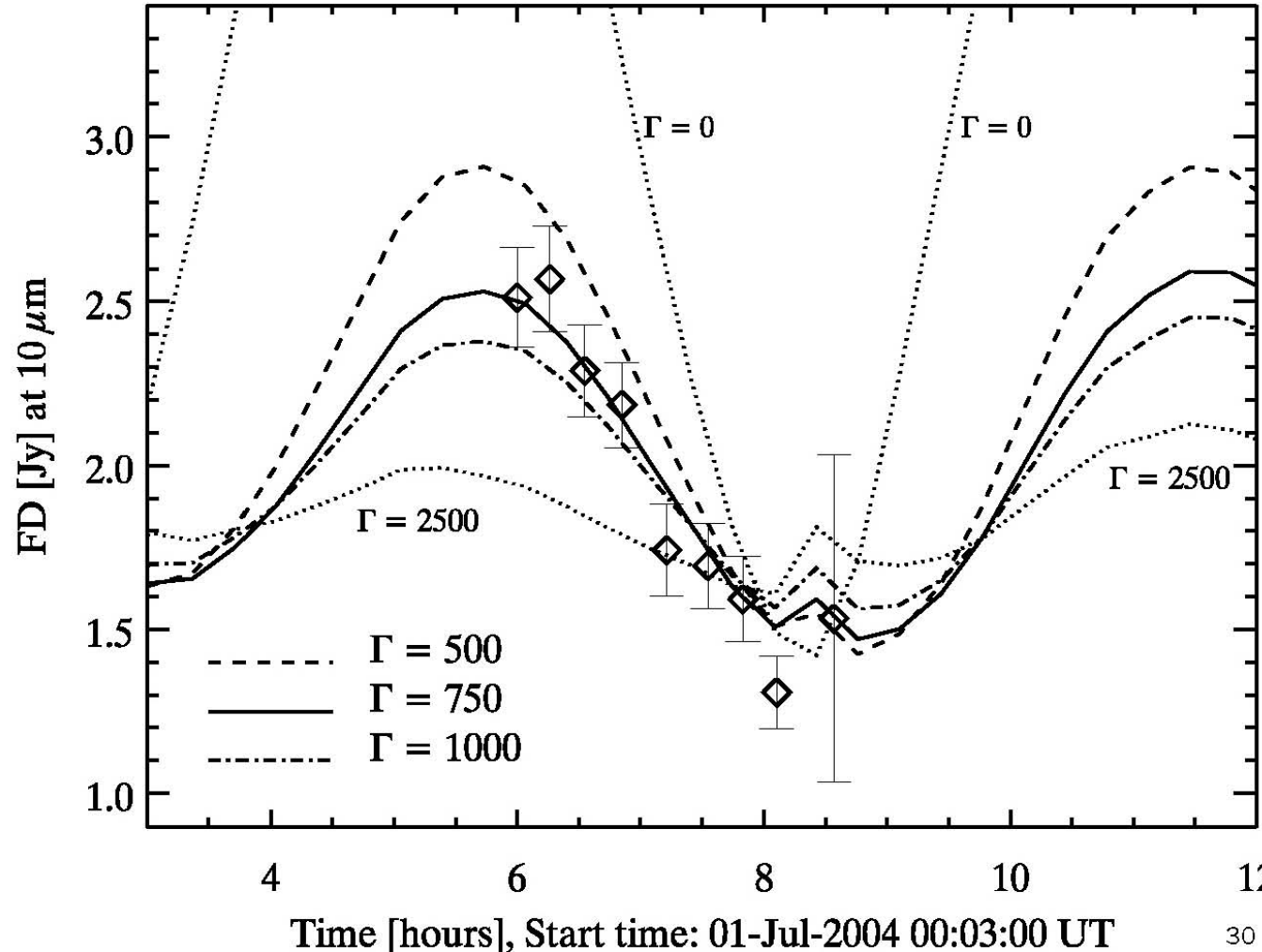


Mueller, Sekiguchi et al., A&A, 2005

熱慣性値($\Gamma = \sqrt{\kappa \rho c}$)の最適化フィッティング

熱慣性値

$$\Gamma = 750 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-0.5} \text{ K}^{-1}$$



• レゴリス小惑星
 $\Gamma = 10-15$
(Mueller et al.1999)

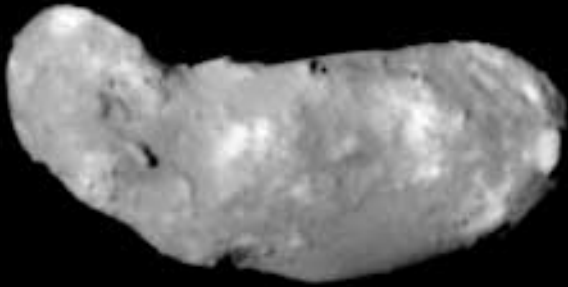
• 月
 $\Gamma = 39$
(Keihm 1984)

• Itokawa
 $\Gamma = 750$

• 金属質
 $\Gamma = 10000$
(Mueller, Sekiguchi et al.2005)

Imaging by Hayabusa Spacedraft

http://www.jaxa.jp/press/2005/09/20050914_hayabusa_j.html



JAXA / ISAS

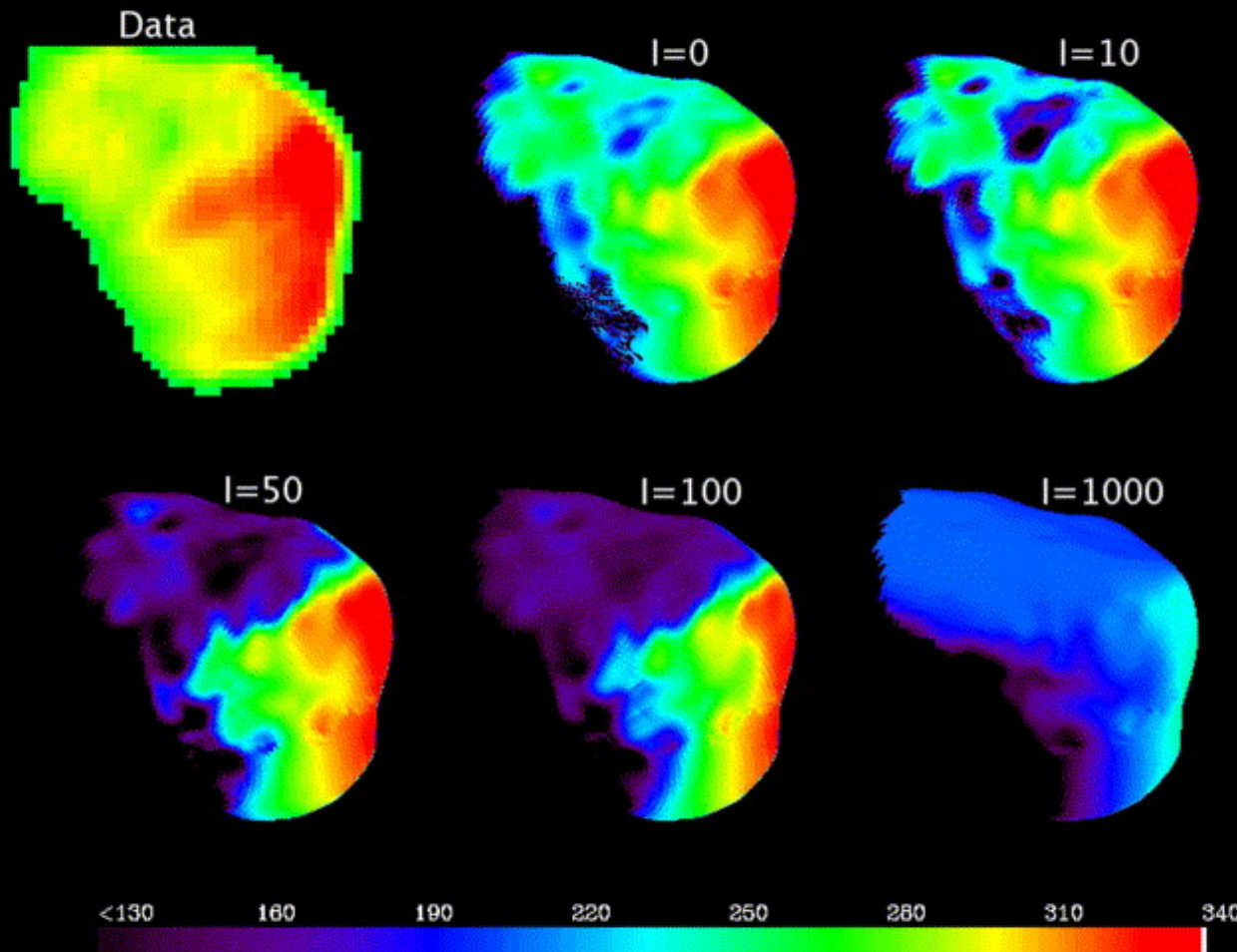


Hayabusa : 540x270x210m

our study : 520x270x230m
(+/-50) (+/-30) (+/-20)

Mueller and Sekiguchi et al. (2005, A&A)

熱慣性値 ($\Gamma = \sqrt{\kappa\rho c_p}$) の導出



• レゴリス小惑星
 $\Gamma = 10-15$
(Mueller et al. 1999)

• 月
 $\Gamma = 39$
(Keihm 1984)

• Itokawa
 $\Gamma = 750$
(Mueller, Sekiguchi et al. 2005)

• 金属質
 $\Gamma = 10000$
(Mueller et al. 2005)

熱慣性 : $\text{J m}^{-2} \text{s}^{-0.5} \text{K}^{-1}$

Tempel 彗星の彗星核の熱慣性値
→ $0 \sim 10 [\text{J m}^{-2} \text{s}^{-0.5} \text{K}^{-1}]$
Groussin et al. 2007

Deep Impact探査機

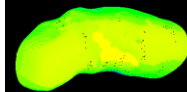
人類の偉大なる一歩から読み取る月のレゴリス



"That's one small step for a man, one giant leap for mankind."
Neil Alden Armstrong


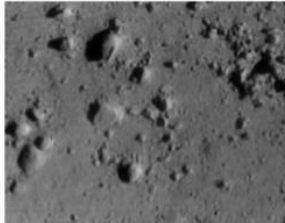

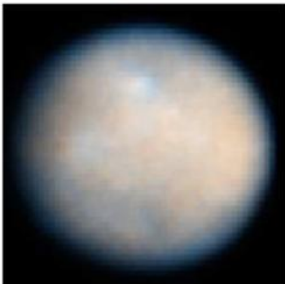
- 表面の土砂の空隙率や砂利の粒径を推定
はやぶさ2のTIR (Thermal InfraRed Imager)
を念頭したサイエンスへ

熱慣性 vs. 表層物理状態

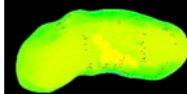


| 熱慣性: Γ [J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹] | 表層物理状態 |
|---|--|
| ~ 10 | 超高空隙率の微細粒(~80%)?, セレス、火星の砂 |
| ~ 50 | 微細粒: 月レゴリス (粒径 50 ~ 100 μ m) |
| 100 ~ 200 | 砂(d ~mm): 433Eros |
| 200 ~ 400 | 砂利 (d ~cm): 25143Itokawa's Muses-Sea Regio |
| 400 ~ 1000 | 岩片、岩石破片 (d < m): Itokawa's rough terrain |
| 1000 ~ 2000 | 多孔質岩石 |
| 2000 ~ | 稠密な岩石 |

はやぶさ2 赤外線カメラ(TIR)の目的

| 25143 Itokawa | 433 Eros | The moon | 1 Ceres |
|---|---|--|---|
| $\Gamma = 600$ | $\Gamma = 150$ | $\Gamma = 50$ | $\Gamma = 10$ |
|  |  |  |  |
| Coarse regolith and boulders | Finer and thicker regolith | Mature and fine regolith | Very fine regolith ?? |

TIRの仕様緒元

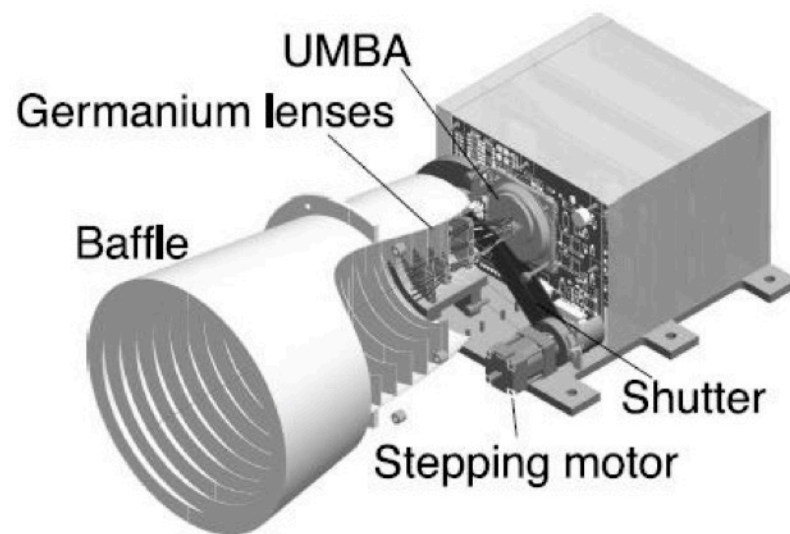
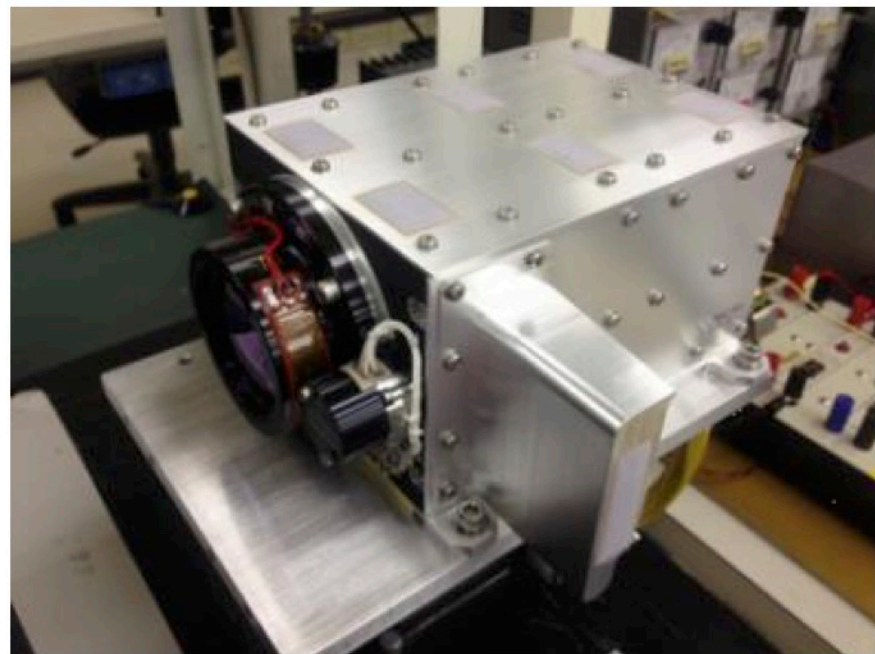


開発コンセプト

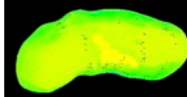
- ・小惑星サーモグラフィ:広い温度範囲
- ・非冷却ボロメータ使用:小型軽量化
- ・「あかつき」LIRと同設計:短期開発
- ・積算 : $M=1$ 枚/60秒 \times 2^m 枚 ($m=0\sim 7$)
 $N=2^n$ 枚 ($n=0\sim 7$ 枚)

Table. Specifications of TIR (at EOL)

| | |
|---------------------|---|
| Mass | 3280 g |
| Power | 22W |
| Detector | NEC 320 bolometer (AR coating) |
| Wavelength | 8-12 μ m |
| FOV | 16 $^\circ$ \times 12 $^\circ$ |
| IFOV | 0.877mrad = 0.05 $^\circ$ |
| Detection range | 250-400K |
| Pixel numbers | 344 \times 260 (effective 320 \times 240) |
| Temp. resolution | < 0.5K (@350K), < 0.6K (@250K) |
| Abs. temp accuracy | < 5K (@350K), < 6K (@250K) |
| Ge Lens F-value | 1.4 |
| MTF (@nyquist freq) | > 0.3 |
| A/D Conversion | 12 bit |



TIRによる風景写真(相模原市)

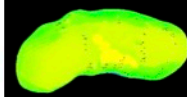


<デジカメ>



<TIR>



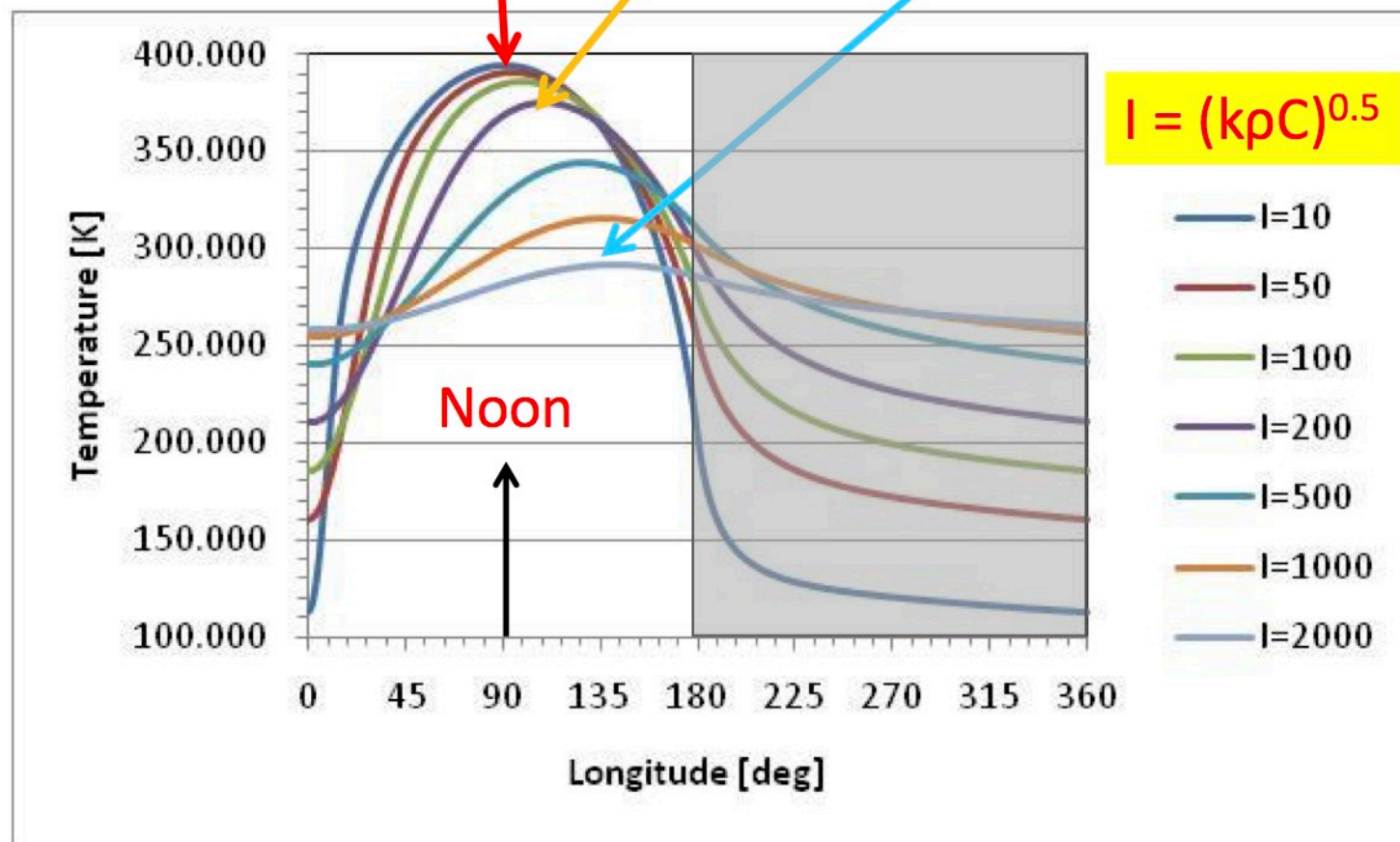
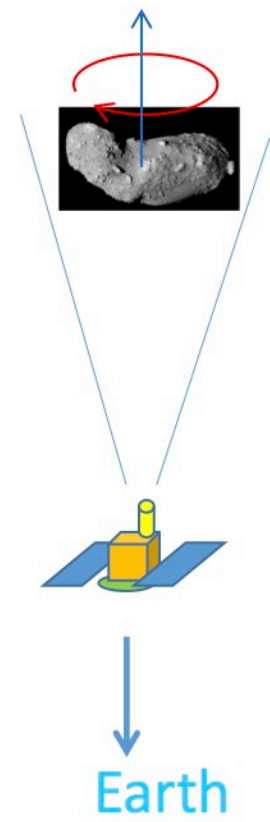


★天体自転に伴う温度変化と熱慣性

1999JU3 (P=7.6 Hr, D_{sun}=1AU)

- Max / Min 温度
- 最高到達温度の時間遅れ.

微細粒 (I = 50)
 砂利 (I = 200)
 岩石 (I > 1000)



はやぶさ2 赤外線カメラ(TIR): 熱慣性値

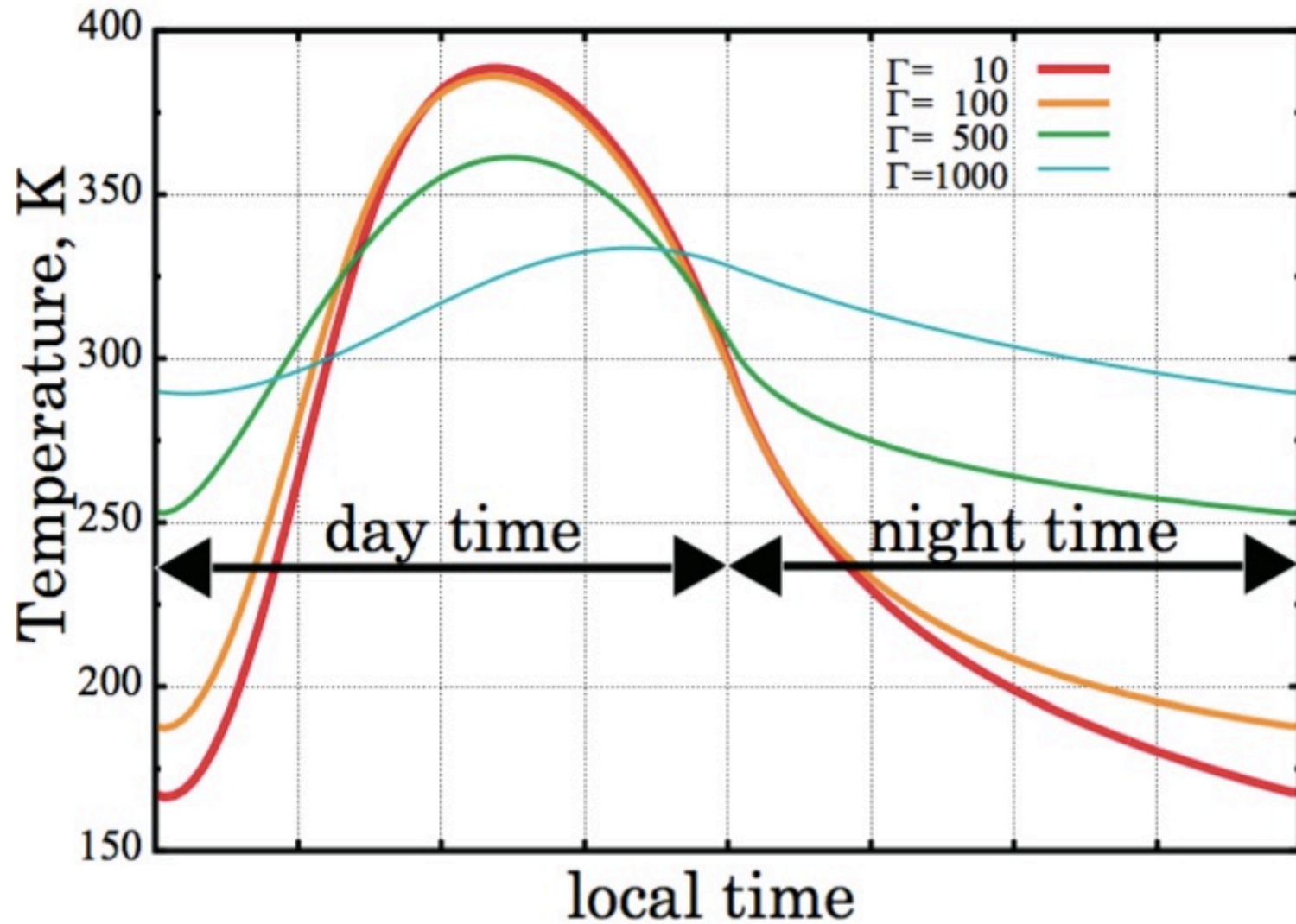


図2: さまざまな熱慣性における表面温度変化プロファイル(日心距離1AU, 自転軸傾斜角0度の場合の, 赤道での温度変化).

赤外線衛星：あかり (ASTRO-F) とスピッツァー (SST)

IRAS (Infrared Astronomy Satellite) 衛星

1983年にアメリカ、イギリス、オランダによって打ち上げ。
世界初の赤外線天文衛星(口径57cm)。

赤外線全天図・彗星の発見・小惑星のサイズとアルベド
のカタログを作成



掃天(サーベイ)型 (→ 現代版IRAS)

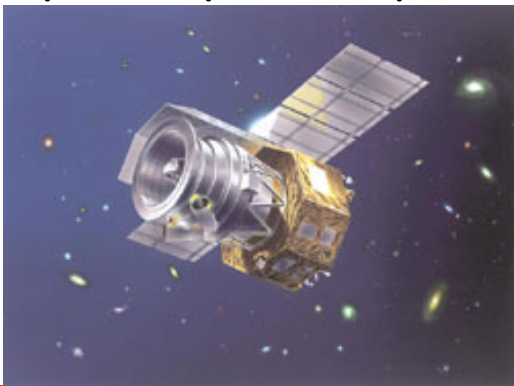
あかり (ASTRO-F) (ISAS/JAXA)

打ち上げ: 2006年2月22日 MV-8

口径 68cm

近-中間赤外: 1.8~26 μ m

遠赤外: 65 μ m, 90 μ m, 149 μ m, 161 μ m



天文台型(ポインティング)

Spitzer S. Tel. (NASA)

打ち上げ: 2003年 8月25日

口径85cm

近-中間赤外: 3.8~24 μ m

遠赤外: 70 μ m, 160 μ m

