

小惑星探査の話

「はやぶさ」がみた小惑星イトカワ

藤原 顕

2007 9. 15 科学カフェ

本題に入る前に

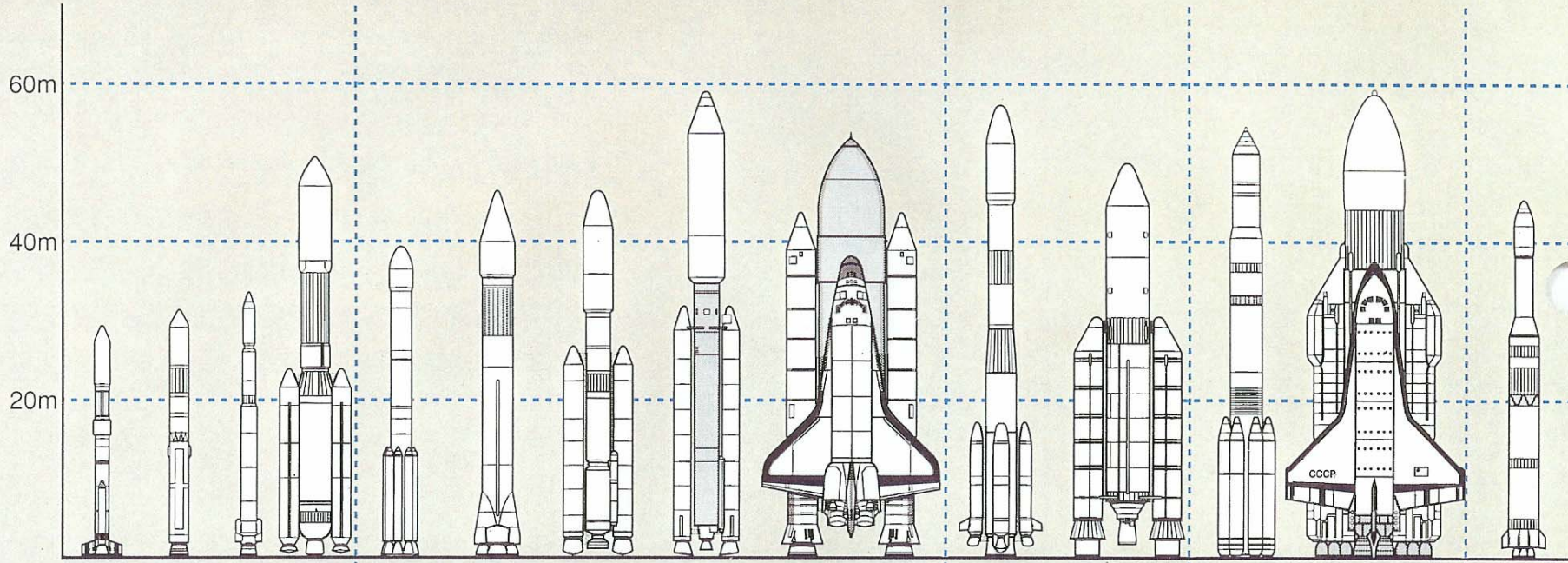
日本の宇宙開発(惑星探査)のあゆみ



ペンシルロケットを手にとる糸川英夫。1912-1999宇宙科学研究所提供

- 1955 東京大学生産技術研究所、都下国分寺においてペンシルロケット水平試射
秋田県道川海岸に秋田ロケット実験場開設、
1957 初人工衛星スプートニク(ソ連) 58 アメリカ
1961 ガガーリン(ソ連)初の宇宙飛行
- 1962 鹿児島宇宙空間観測所の開設
1969 宇宙開発事業団発足 アポロ月探査
- 1969 わが国初の人工衛星「おおすみ」打上げ(ソ、米、仏についで4番目)
- 1981 宇宙科学研究所の創設(国立学校設置法により大学共同利用機関として設置
文部省所管)
- 1985 わが国初の惑星間試験探査機「さきがけ」打上げ(ハレー彗星),
ハレー彗星探査機「すいせい」打上げ
- 1990 工学実験衛星「ひてん」打上げ(月)
- 1998 火星探査機「のぞみ」打上げ
- 2003 工学実験・小惑星探査機「はやぶさ」打上げ
宇宙3機関(宇宙科学研究所=ISAS、航空宇宙技術研究所=NAL、宇宙開発事業団=NASDA)
が統合し、独立行政法人「宇宙航空研究開発機構」=JAXA 発足
- 2007 月探査機「かぐや」打ち上げ

世界のロケット比較



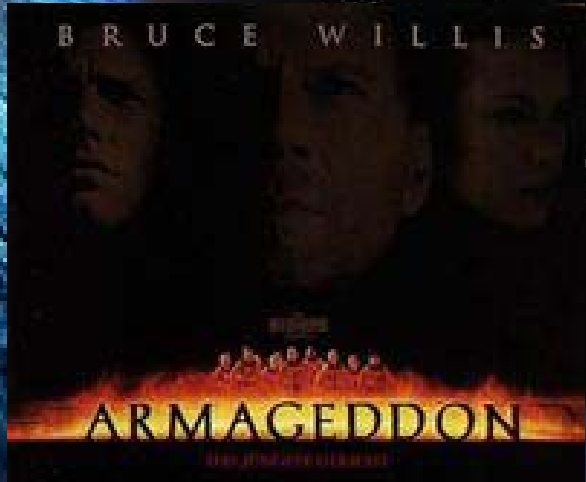
名称	M-3SII	M-V	J-I	H-II	デルタII	アトラスII	タイタンIII	タイタンIV	スペースシャトル	アリアンIV	アリアンV	プロトン	エネルギア/ ブラン	長征3号
運用開始年	1985	1996	1996	1994	1990	1991	1989	1989	1981	1989	1996	1968	1987/1988	1984
低軌道打上げ能力(t)	0.77	1.8	1.0	10.0	5.0	6.8	12.5	17.7	25.0	9.5	18.0	21.0	100.0/30.0	5.0
静止軌道打上げ能力(t)				2.0	0.9	1.5	2.2	4.5	2.3	2.2	3.4	2.2	18.0	0.65
発射時重量(t)	61	128	88	264	231.8	187.2	680	866.6	2041	470	725	770	2000	202
	日本				米国				欧州			ロシア		中国

宇宙研資料より

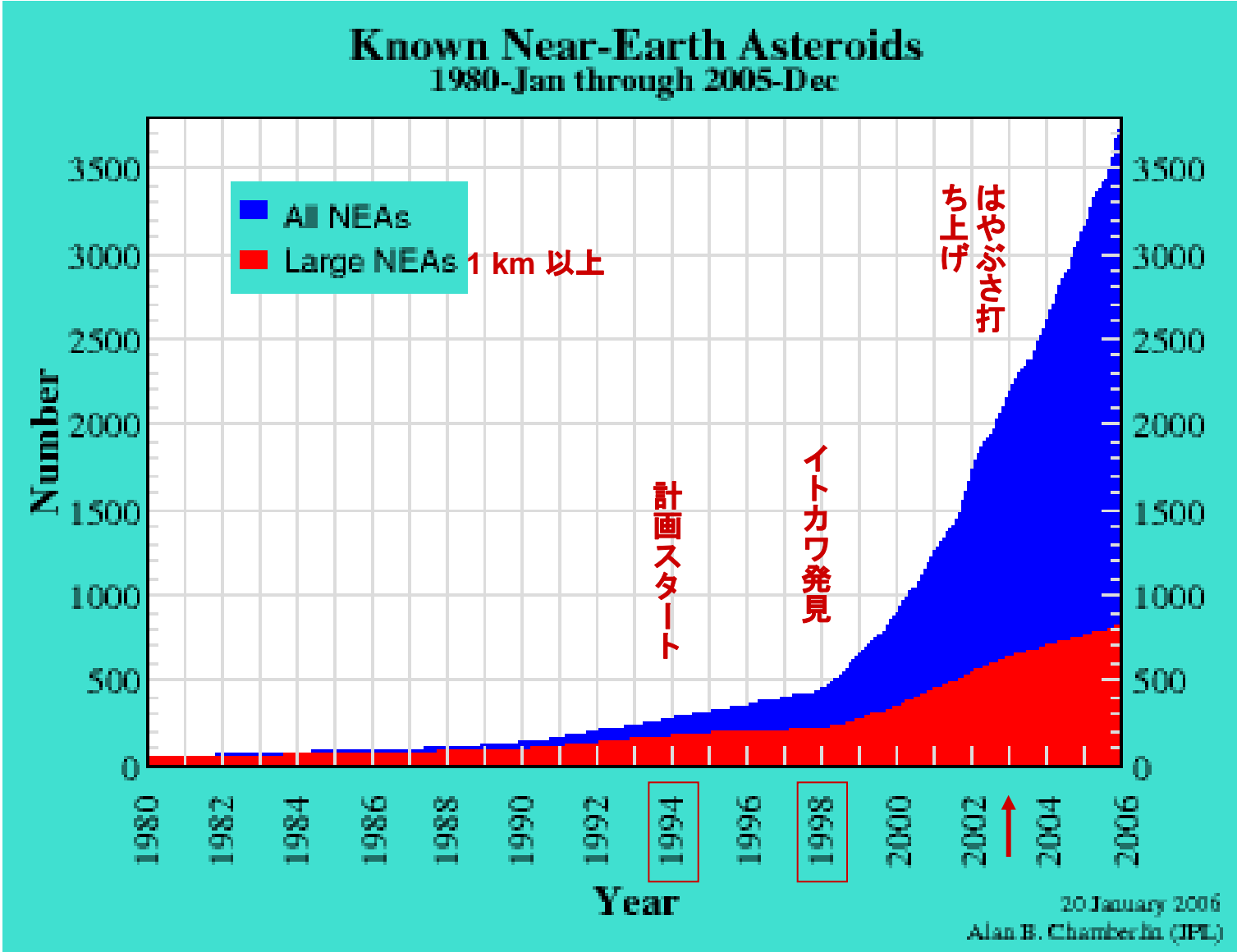
本題 小惑星探査の話

「はやぶさ」がみた小惑星イトカワ

1. 小惑星について
2. はやぶさミッションの概要
DVDによる紹介 20分
3. 科学結果



近地球型小惑星 (はやぶさの探査したイトカワもこの仲間)



近地球型小惑星 (Near-Earth Asteroids あるいはNEA) の探索

LINEAR project



The GTS-2 telescope is a 1 meter folded prime focus Cassegrain design identical to that of the Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance (GEODSS) telescope used by the Air Force for space surveillance. It is located at the [Experimental Test Site \(ETS\)](#).



ETS is located on White Sands Missile Range in Socorro, NM. It is located across the parking lot from the operational Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance (GEODSS) site (the three right most domes) which is part of the Air Force's space surveillance network. ETS is operated by MIT Lincoln Laboratory for the Air Force and has several telescopes which are used for a variety of technology development programs. Efforts such as LINEAR are conducted without impacting the operational GEODSS site.

Spacewatch Project

Lunar and Planetary Laboratory
The University of Arizona
Tucson, AZ

The Spacewatch 1.8-meter and 0.9-meter telescopes on Kitt Peak, 45 miles southwest of Tucson, Arizona



最近のニアミス例

1 AU = 地球～太陽間距離 = 149597870 km

1 LD = 月までの距離 = 0.0026 AU = 384400km

距離 (AU)	日付	小天体名	
0.000086*	2004 Mar. 31.65	2004 FU162 28.7	0.034 LD=13000km
0.000226	2004 Dec. 19.86	2004 YD5 29.3	
0.000328	2004 Mar. 18.92	2004 FH 25.7	
0.000560	2005 Nov. 26.02	2005 WN3 29.9	
0.000564	2003 Sept.27.96	2003 SQ222 30.1	
0.00072	1994 Dec. 9.79	1994 XM1 28.0	
0.000785	2006 Feb. 23.29	2006 DD1 26.5	
0.000788	2002 Dec. 11.35	2002 XV90 25.0	
0.000802	2002 June 14.09	2002 MN 23.4	
0.000820	2005 Oct. 10.18	2005 TK50 29.1	
0.000963	2005 Mar. 18.91	2005 FN 26.9	
0.000991	2003 Dec. 6.79	2003 XJ7 25.7	
0.00099	1993 May 20.86	1993 KA2 29.0	
0.00107	2006 Aug. 31.90	2006 QM111 30.5	0.42LD

最近の地球衝突例

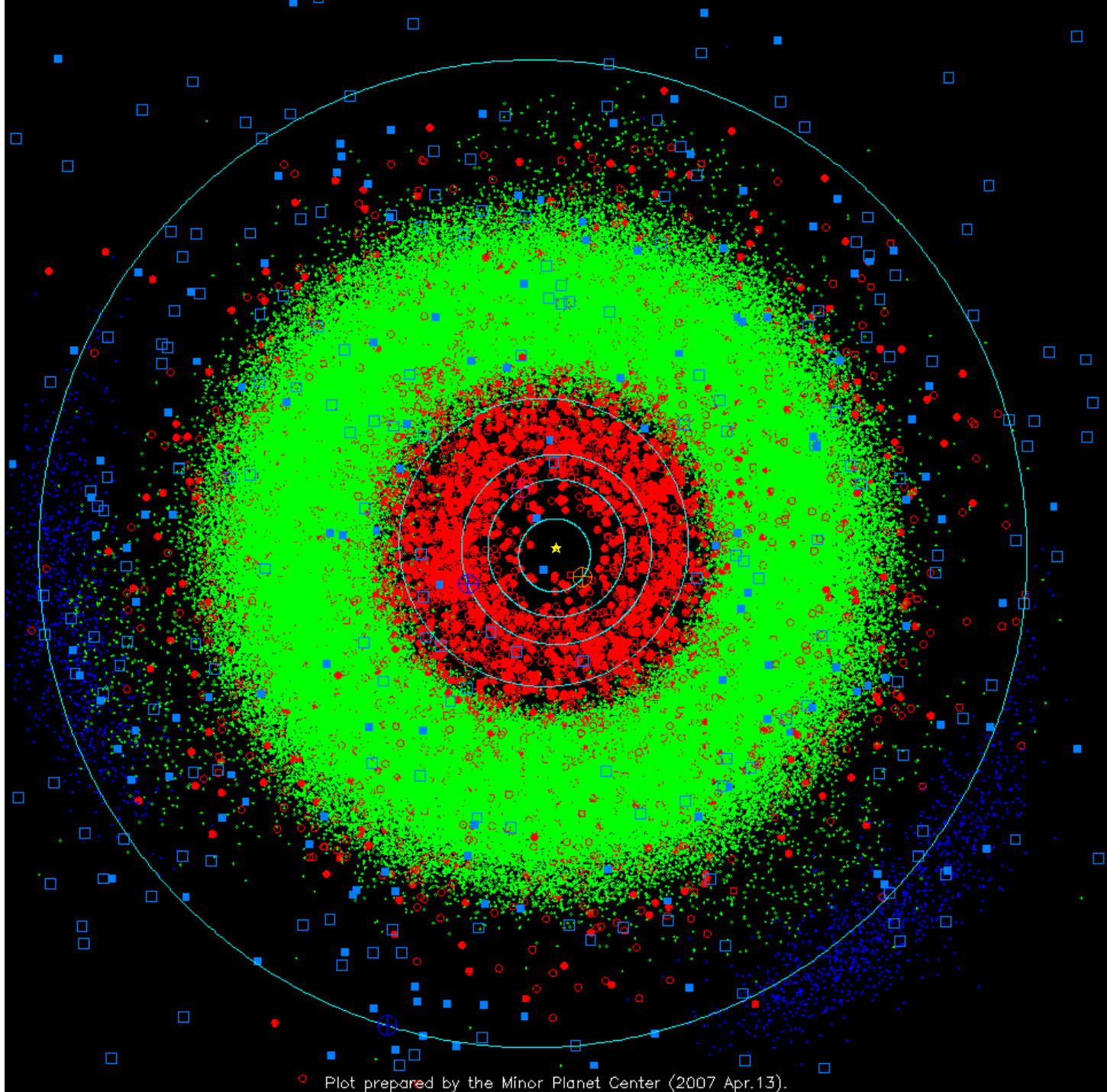
2002年6月6日 推定直径10 m. ギリシャとリビアの間の地中海 34° N 21° E 空中で爆発.
エネルギー は音波よりの推定でTNT爆薬26 キロトン, 小型核兵器に相当

始原天体

小惑星 30万個
最大小惑星
1000km

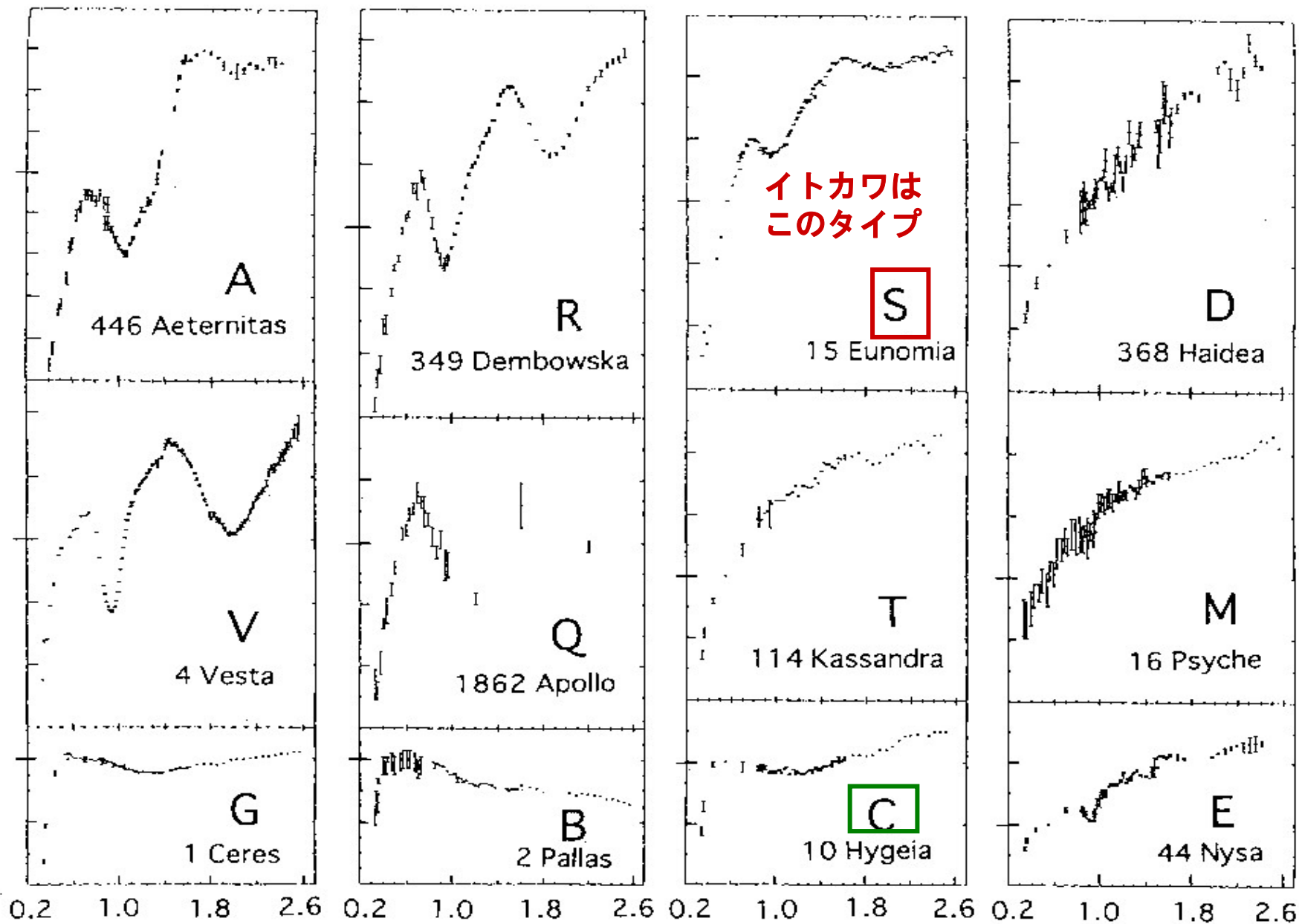
彗星
カイパーベルト
天体

太陽系の形成
を探るかぎ



**真理の大海原（おおうなばら）が全く開拓
されていないのに、自分は、その海辺で美
しい小石や貝を拾って遊ぶ子供のようなも
の？**

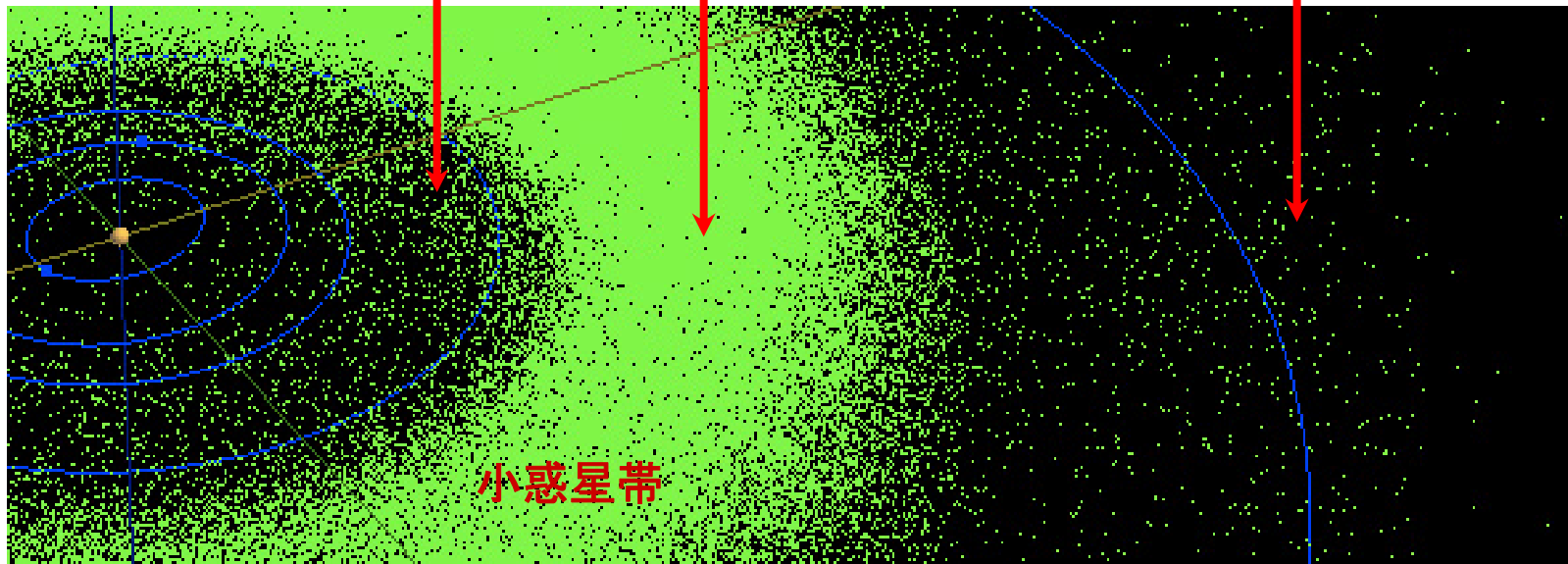
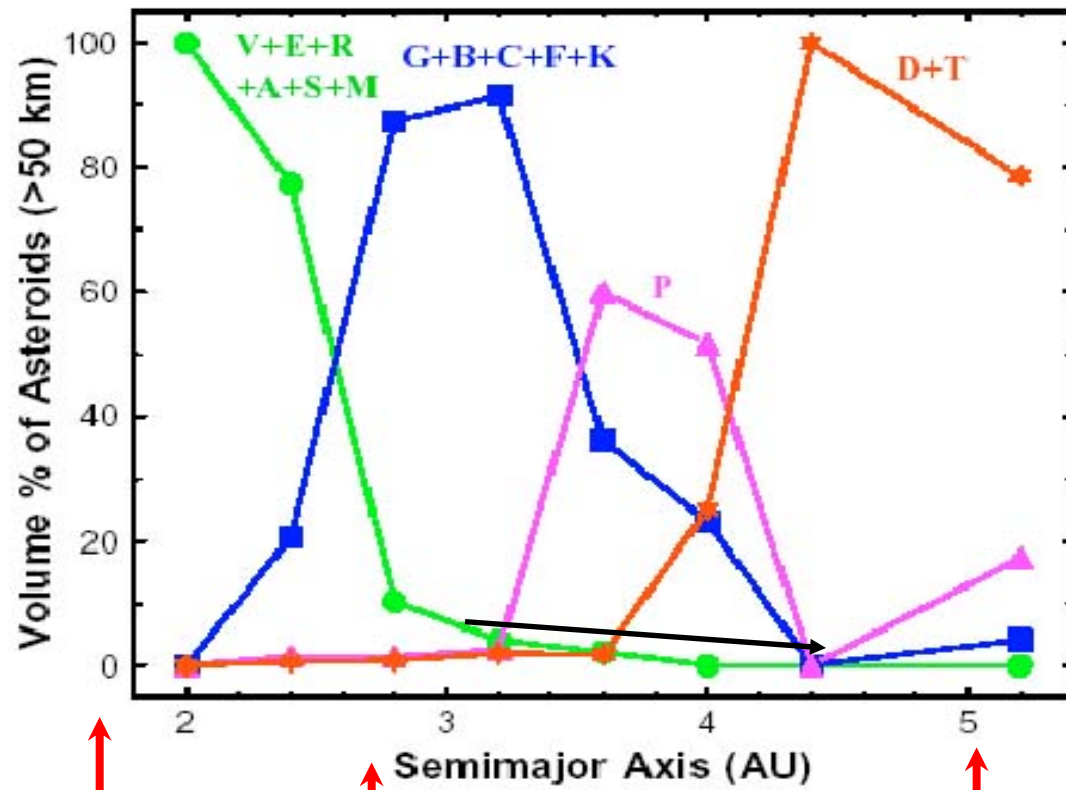
反射率



反射分光スペクトルによる分類

波長 (ミクロン)

Gaffey et al.(1993)





NWA 1283 Meteorite
Type L3.7,S1 Chondrite.
Found 2001.

Sahara Desert,Morocco(North
West Africa)
Size:4.3cm

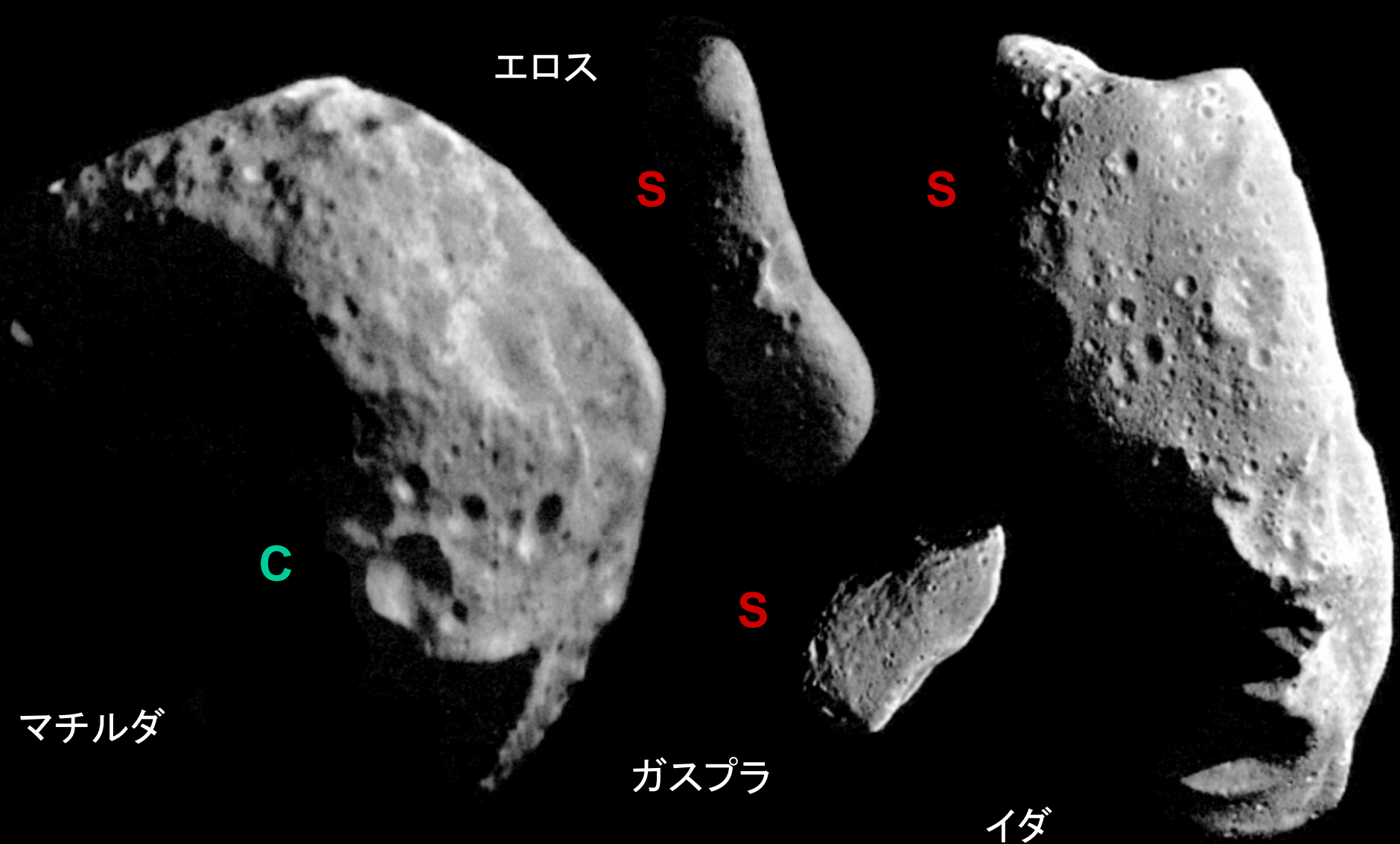
NWA 987 Meteorite
Type L3.8,S5,W1 Chondrite.
Found 2001.



Allan Hills,Far Western
Icefield,Antarctic
Size:8mm
ALH 76009 Meteorite
Type L6 Chondrite.
Found 1976.

**Sタイプに近いと思われる隕石
たち・・オーディナリー（普通）コ
ンドライト集団**





過去のNASA探査機によって撮られた
これまでの小惑星

エロスのみはランデブー探査 ほかは
フライバイ探査

はやぶさによるイトカワ観測の科学的意義

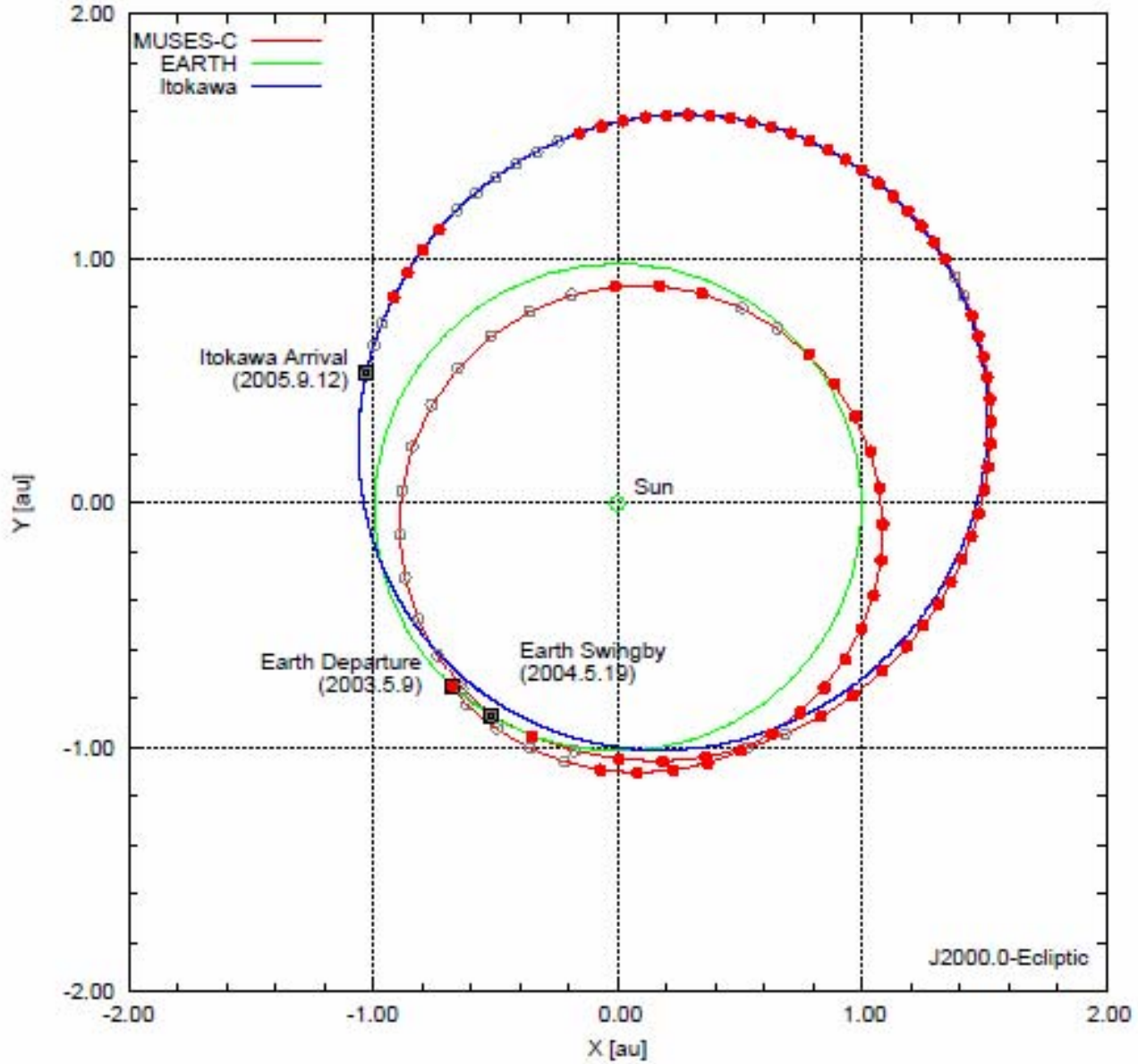
- 小惑星は惑星形成史の比較的初期の状態をとどめている。
- 小惑星は、現在発見されているだけで数十万個を越え、地上観測による分光タイプから、約1ダースに分類されている。
そのうち、イトカワのような「S型」は、火星と木星の間にある小惑星帯から地球軌道の近くの宇宙空間までで、最も主要なタイプである。最もありふれた小惑星を探索することによって、最も一般性のある小惑星像を描き出せる。
- 地球上で見つかる主要な隕石の種類である「普通コンドライト」と「S型小惑星」の対応関係を、イトカワのリモートセンシング観測とサンプルリターン後の試料分析によって明らかにする。
- はやぶさを皮切りに、引き続き主要な分光タイプの小惑星サンプルリターン探索を進めることで、小惑星の分光タイプと隕石タイプとの対応関係を明らかにし、内側に地球型惑星の材料、外側に木星型惑星の材料を多く含むと考えられる小惑星全体の物質分布図を作成することができる。

はやぶさ の概要・経緯

- ・ 工学試験探査機 **世界初の小惑星サンプルリターンを目指す**
 - **電気推進, 自律航法, 試料採取, 再突入**
 - MV-5号機により鹿児島県内之浦より **2003**, 5月9日打ち上げ
 - 地球スウィングバイ 2004年5月19日
 - 小惑星**25143 ITOKAWA**(1998SF36) 到着 **2005**年9月
 - 小惑星上空に滞在, 観測
 - 小惑星表面に降下. 小惑星の表面に着陸, 小弾丸の発射できず, 表面からの破片を採取?
 - スラスタートラブル(12) 通信回復(1) ヒーター故障による凍結(11) 昇温
リチウムイオン電池過放電 充電 カプセル蓋閉め イオンエンジンテスト
 - 地球への帰途につく. 2007年4月
 - 試料を入れたカプセルの地球帰還 **2010**年6月 オーストラリア ウーメラ



小惑星イトカワの軌道



再突入カプセル
Reentry Capsule

望遠カメラ
Telescopic Camera
(ONC-T)

スタートラッカー
Star Tracker (STT)

中利得アンテナ
Medium-gain Antenna

ISASロボットランダー
MINERVA

レーザ高度計
Light Detection And Ranging
(LIDAR)

サンプル採集装置
Sampler

近赤外線分光器
Near Infrared Spectrometer

レーザレンジファインダ
Laser Range Finder (LRF)

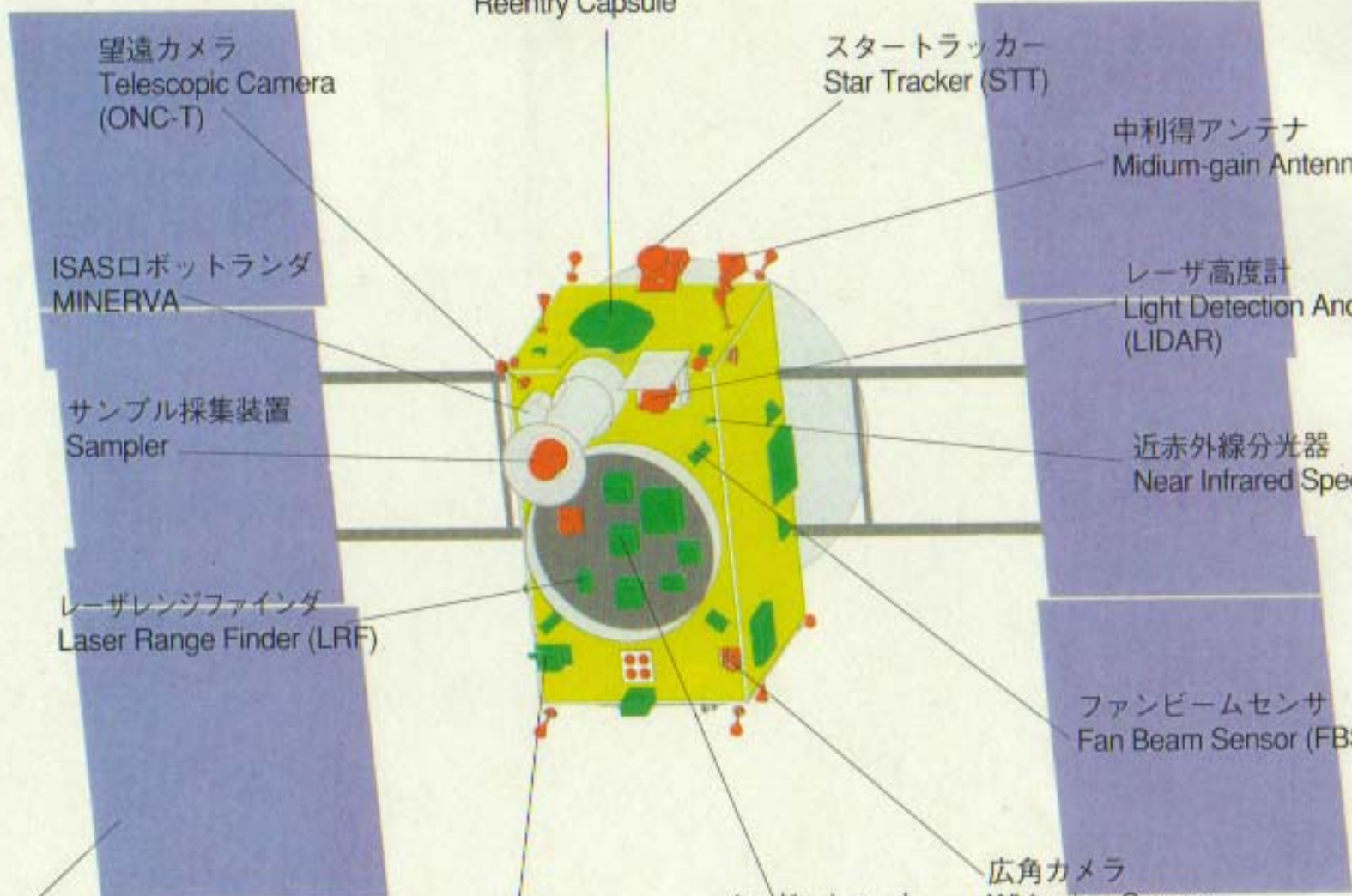
ファンビームセンサ
Fan Beam Sensor (FBS)

太陽電池パドル
Solar Cell Paddle

蛍光X線スペクトロメータ
X-ray Fluorescence Spectrometer

ターゲットマーカ
Target Marker

広角カメラ
Wide-view Camera
(ONC-W)



はやぶさに搭載された観測機器

- **可視分光撮像カメラ(AMICA)**
CCD 視野 5.7° 8バンドフィルター
1500枚以上の画像取得
- **レーザー高度計(LIDAR)**
高度50mで1mの計測精度 167万ヒット
- **近赤外線分光器(NIRS)**
64チャンネルInGaAs 検出器 波長0.8~2.1ミクロン
視野角 $0.1 \times 0.1^\circ$ (6~90m分解能)
総スペクトル数 80,000 以上取得
- **蛍光X線分光器(XRS)**
CCD 視野 3.5° 5.9keVで分解能160eV
総スペクトル数 約6,000

はやぶさによるイトカワの科学観測概要

*日時:

2005年09月中旬～11月下旬
10月中はツアー観測（右図）

*場所:

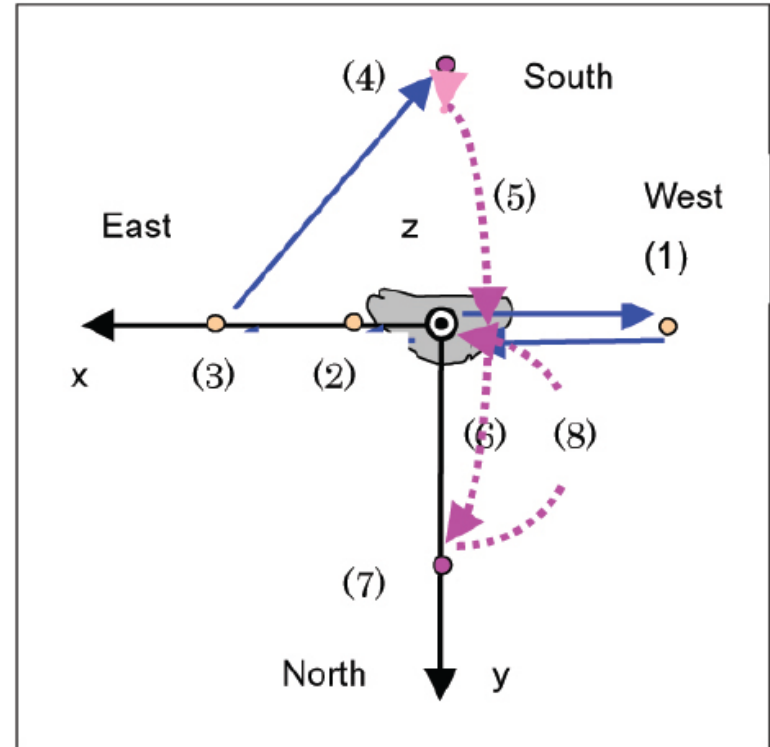
イトカワから20km～3kmの距離

*観測項目:

形状, 地形, 表面高度分布,
反射率(スペクトル), 鉱物組成,
重力, 主要元素組成

など

Fujiwara, et al., *Science* (2006)

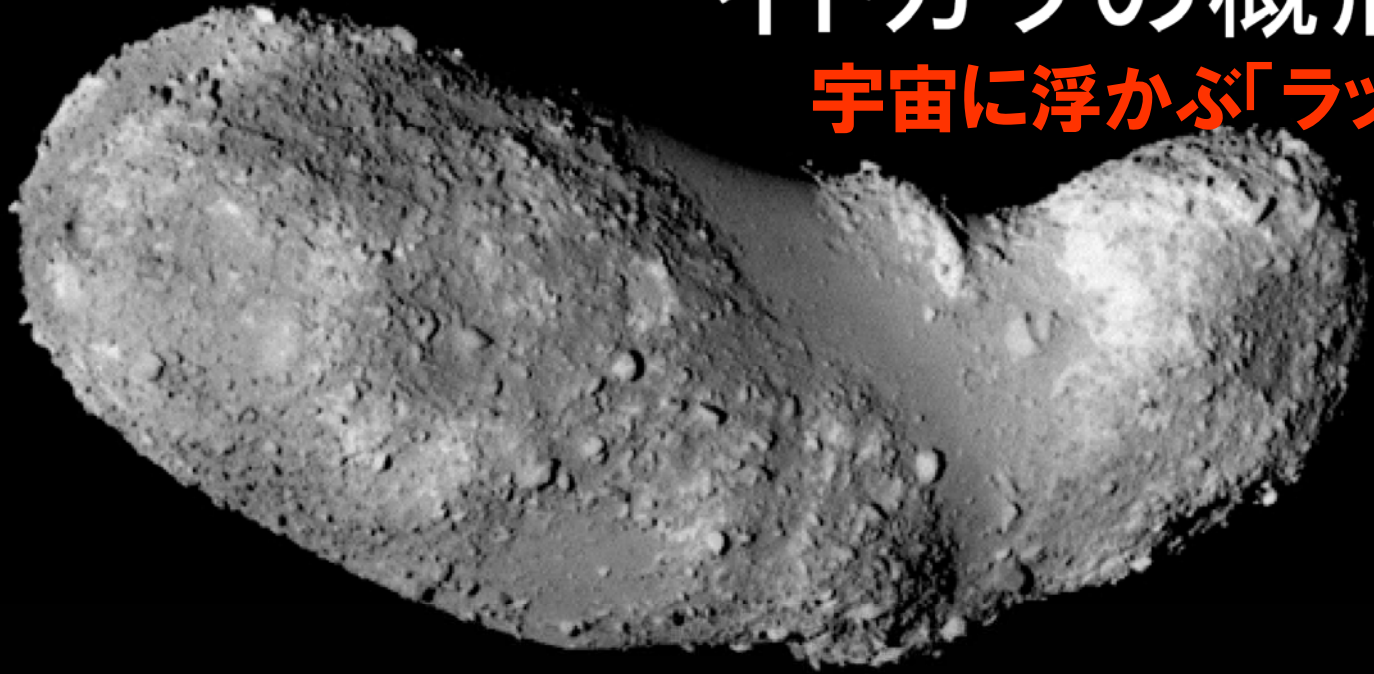


ツアー観測の経路: (1)～(8)の順で移動

地球側(ほぼ太陽側)から見たイトカワが図中央

イトカワの概形

宇宙に浮かぶ「ラッコ」



太陽系黄道面を海面、小惑星をそこに浮くラッコに見立てた。頭部と胴体、くびれた首、腹から両脇に掛けてと背に滑らかな表面が見える。右は、運用中の関係者に出回ったアスキーアート。



+315 deg / 2005-09-14T16:10:09.98 / 2376966803

はやぶさが求めたイトカワの基本物理量

史上最小の天体は、内部がスカスカ

軌道要素： 長半径= 1.3238AU 離心率=0.2801 傾斜角=1.6223°
近日点=0.953AU 遠日点=1.6947AU (AU =地球~太陽間距離)

サイズ(m)： 主軸 X=535, Y=294, Z=209 (±1m)
取り囲む箱のサイズ 550x298x244 (±1m)

自転周期： 12.1324 時間

自転軸の向き： 慣性空間 [128.5, -89.66] (黄道面にほぼ垂直)
小惑星 [90.53, -66.30] (逆スピン)
自転軸のふらつきは測定誤差内

質量： $3.510 \times 10^{10} \pm 0.105 \times 10^{10}$ kg

密度： 1.90 ± 0.13 g/cm³ (これまでのS型小惑星は2.6)

(注) 経度は「ラッコ」の頭にある黒いボールダーを起点に取った東経で測定
青色は地上観測によって予めわかっていた値



イトカワの特徴的な地形

誰も想像できなかった微小天体の素顔

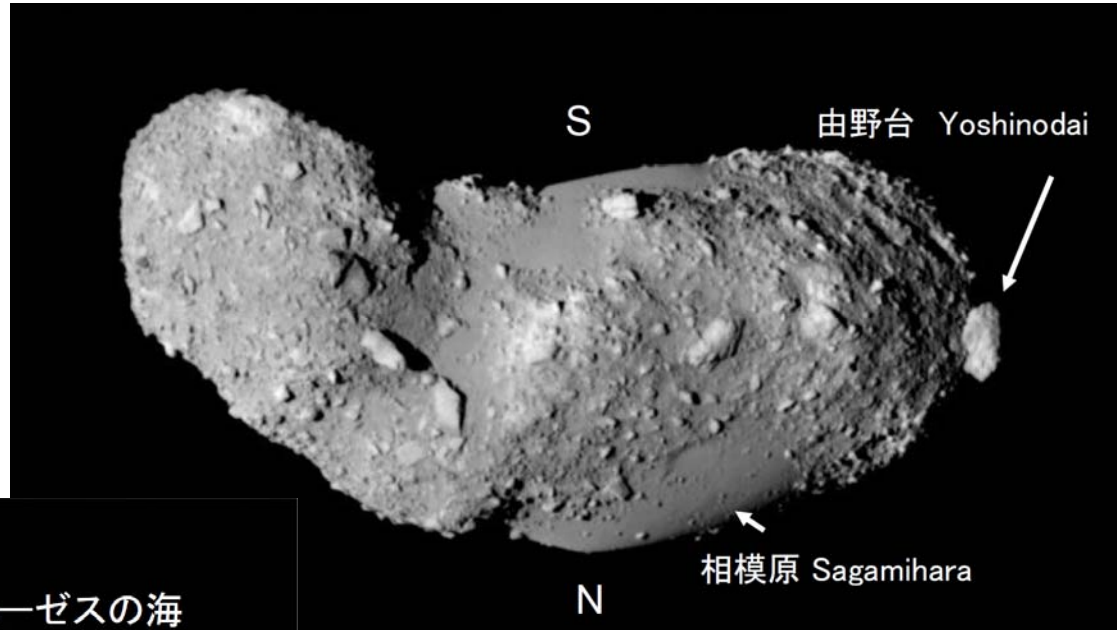
探査前の予想

巨大隕石

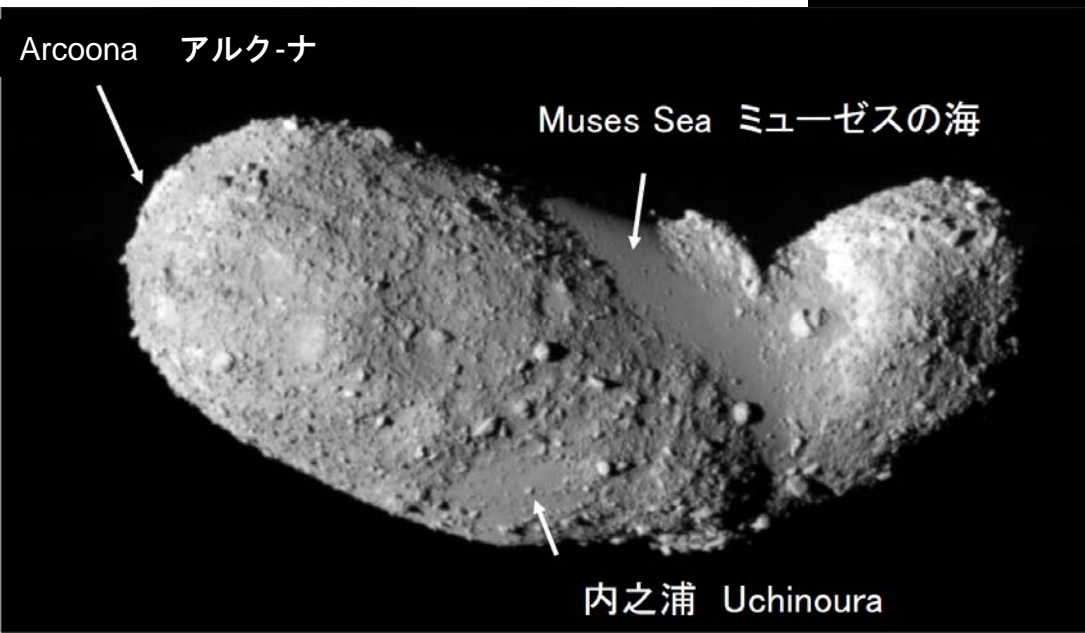
クレーターに覆われている

レゴリスは少ない

東側



西側



Saito, et al., *Science* (2006)

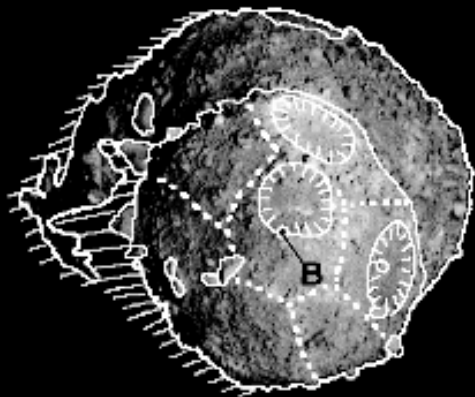
Demura, et al., *Science* (2006)

月面上に残された アポロ宇宙飛行士の足跡

月など大きな惑星・衛星の表面は厚いレゴリス層で覆われている

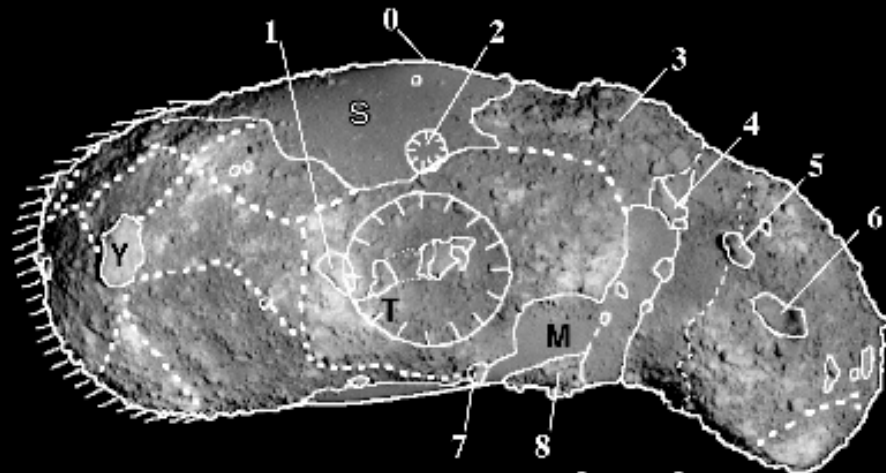
NASA





「ラッコ」頭部

Head-ward part
(Longitude = 0)

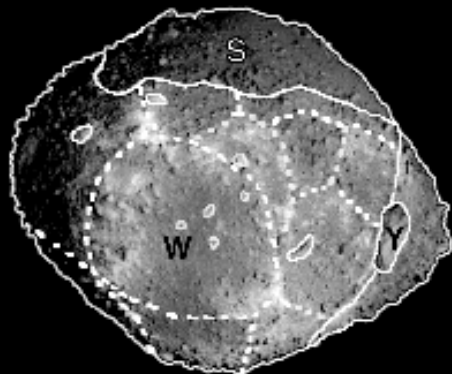


洞 西側 首 頭

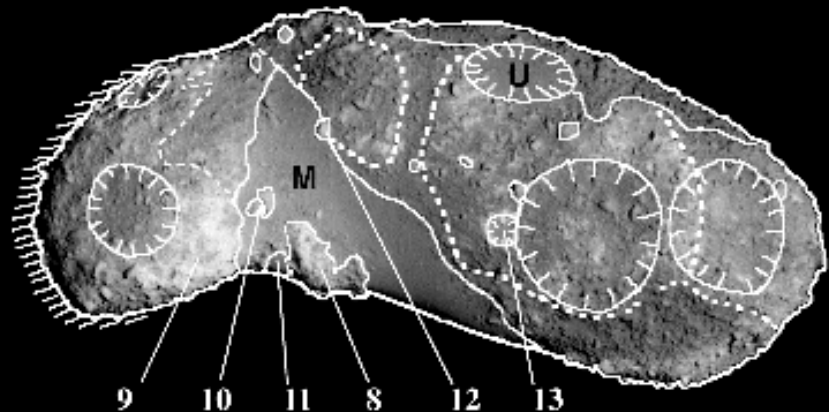
イトカワ地質図

「ラッコ」洞部

(Longitude = 180)
Body-ward part



頭 首 東側 洞



イトカワの地名一覧

惑星探査にゆかりのある和名もたくさん

- **地名 (Region Name)**
 - T: Tsukuba Region (筑波、日本の追跡局)
 - M: Muses C Planitia (はやぶさのコードネーム”MUSES-C“に因む)
 - S: Sagami-hara Planitia (相模原、日本の管制局)
 - W: Little Woomera Region (オーストラリア・ウーメラ、地球帰還カプセル回収予定地点)
 - U: Uchinoura Region (内之浦、はやぶさ打上地)
 - 0: the North Vertex (ノース ヴァーテックス、北極頂点の意味)
 - 3: Sanriku Ridge (三陸、観測気球打上げ場)
 - 8: Yatsugatake Ridge (八ヶ岳)
 - 9: Shirakami Slope (白神)
 - 11: Noshiro Smooth Terrain (能代、ロケット地上試験場)
- **岩塊 (Boulders)**
 - B: the Black Boulder (ブラック ボールダ、黒い岩で経度0° の目印)
 - Y: Yoshinodai Boulder (由野台、相模原管制室の所在地)
 - 1: Kakuda Boulder (角田、ロケット地上試験場)
 - 4: Kokubunji Boulder (国分寺、国産ロケット発祥の地)
 - 5: Pencil Boulder (ペンシル、M-Vに連なる最初のロケット名)
 - 6: M-V Boulder (はやぶさ打上ロケット名)
 - 7: Hilo Boulder (イトカワを地上観測したハワイすばる天文台の観測ベースの所在地)
 - 10: Mountain View Boulders (カプセルの試験を行ったNASA Ames研究所の所在地)
 - 12: Usuda boulder (臼田、はやぶさ地上追跡局)
- **クレーター (Craters)**
 - 2: Fuchinobe Crater (淵野辺、宇宙科学研究本部最寄駅)
 - 13: Komaba Crater (駒場、旧宇宙科学研究所の元所在地)

イトカワの表面

ファセット: 昔の衝突跡? 母天体の名残?

遠目には角の取れた印象だが、近づいてみると頭部と尾部にファセットという平坦面ないし凹面が多数見られる。



くびれた首



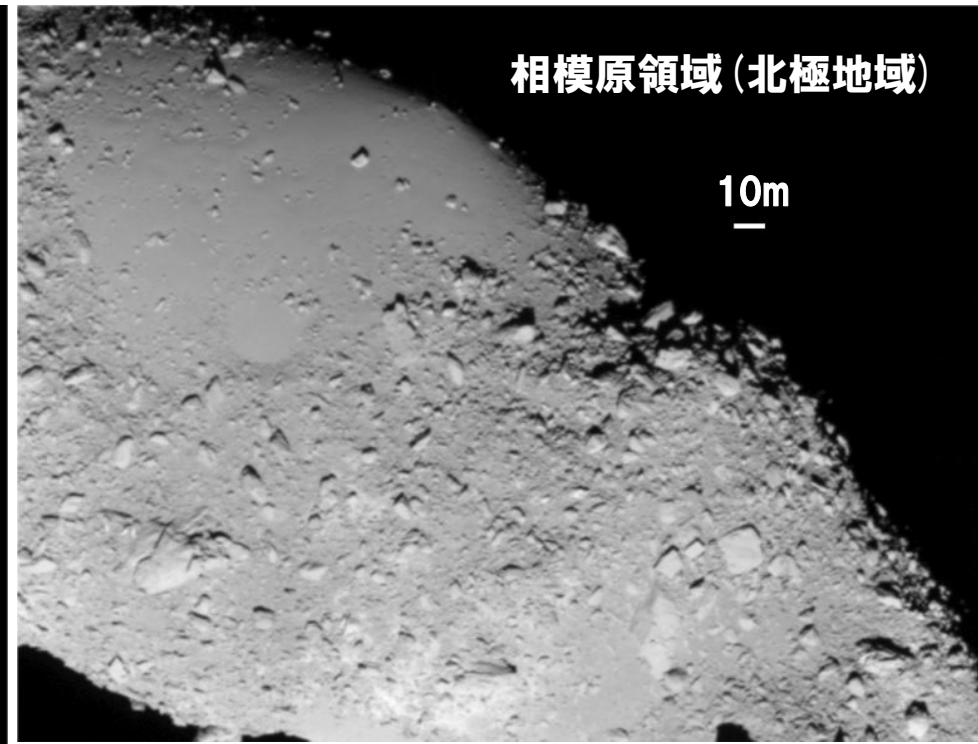
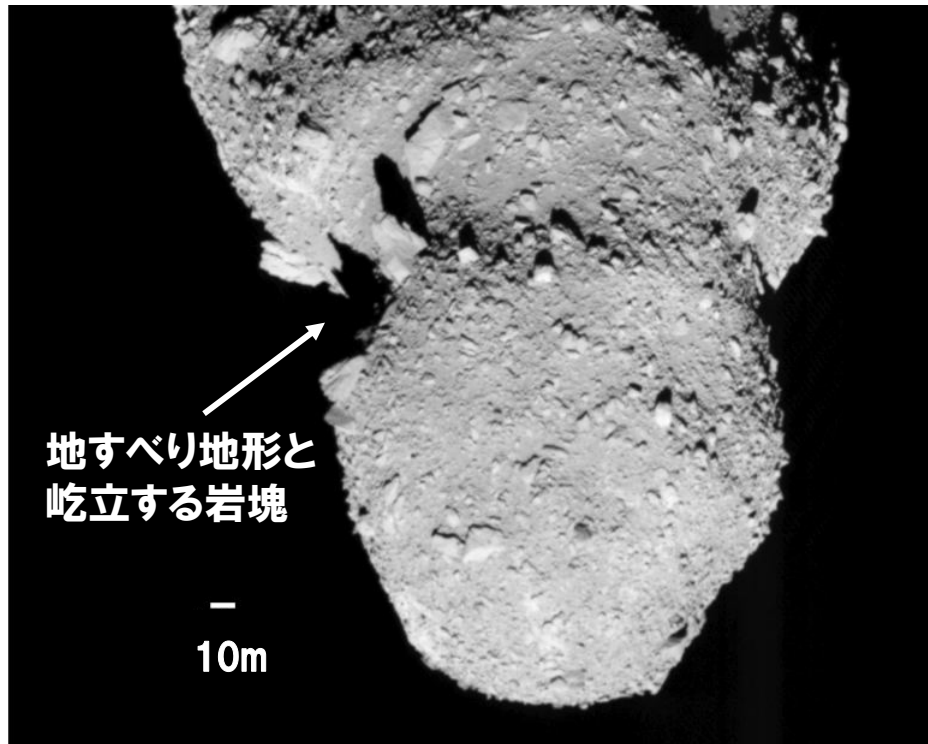
ファセットとは、曲面の一部を切り落としたようなもので、イトカワの場合その縁は多少の高まりとなっている。この起源は衝突ないしイトカワ形成前の母天体上の原地形の一部と考えられている。

イトカワの二分性

小さな世界に、多様で複雑な地形

ラフ地域： 多くのボールドー(岩塊)が堆積

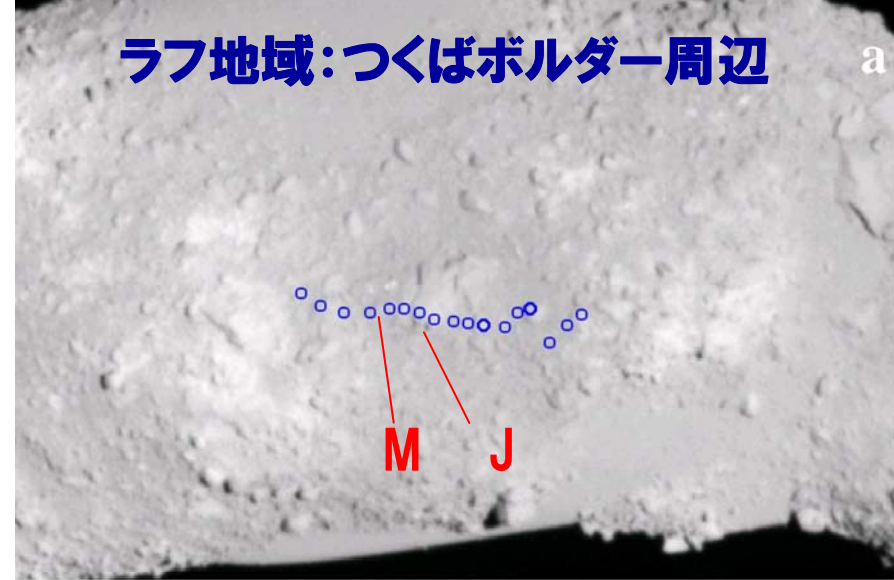
スムーズ地域： cm-mmのサイズの比較的そろった小石からなる



険しい地形
(ラフ地域)

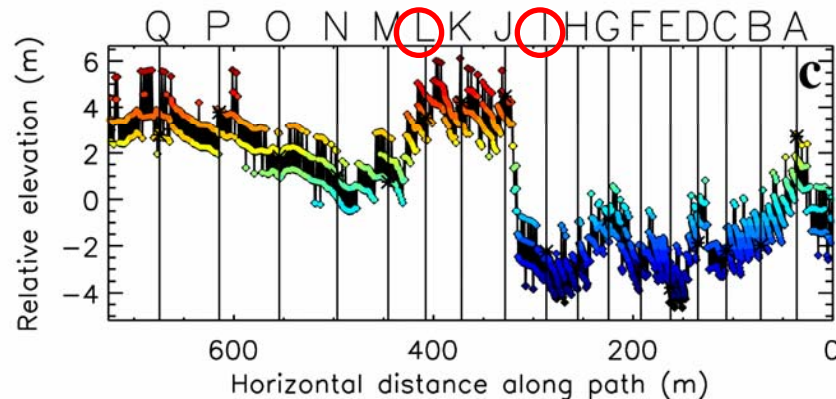
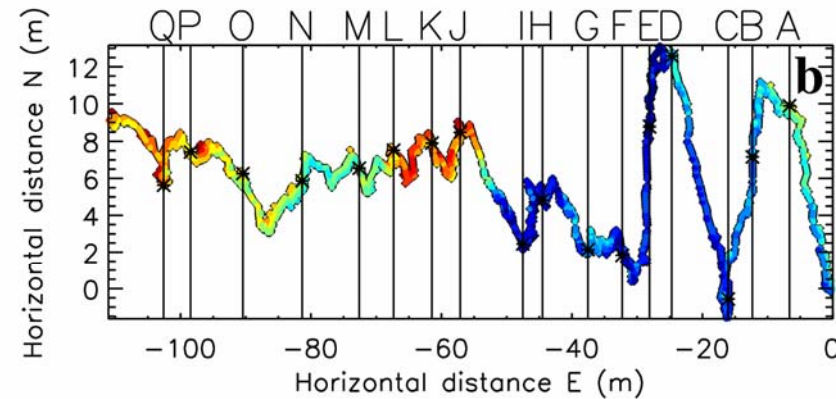
滑らかな地形
(スムーズ地域)

Saito, et al., *Science*, (2006)



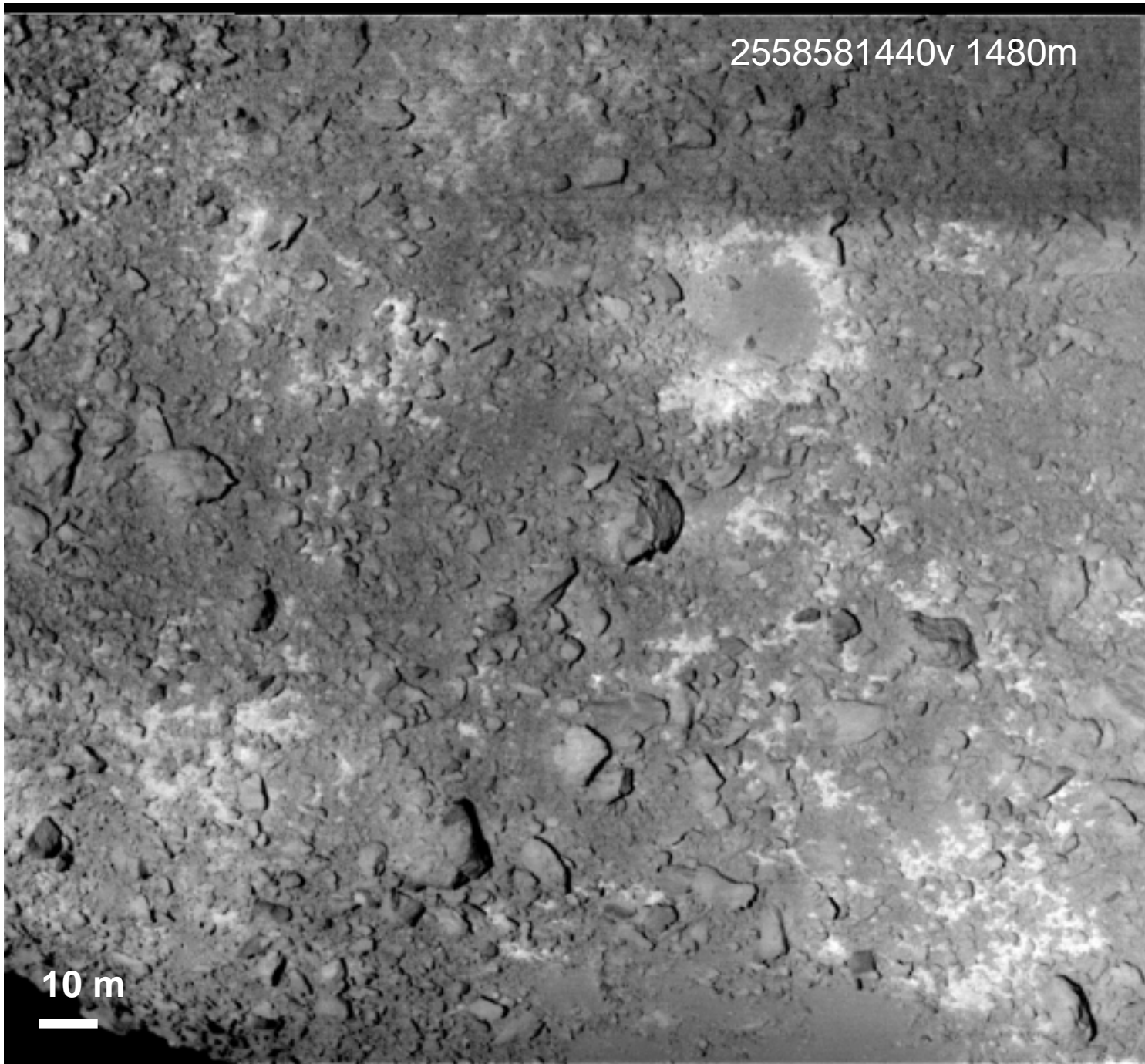
LIDARによる 局所地形の計測: メートル以下でこぼこを 計れる

- LIDAR測距点を使うと、例えば、ラフ地域にある高さわずか3-4mほどの「つくばボルダー」という岩塊の凹凸が確認できる(J点-M点)
- ラフ地域(つくばボルダー周辺)の表面粗さ: 2.2 m
- スムース地域(ミューゼスC付近)の表面粗さ: 0.6 m

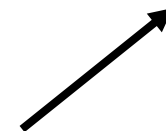
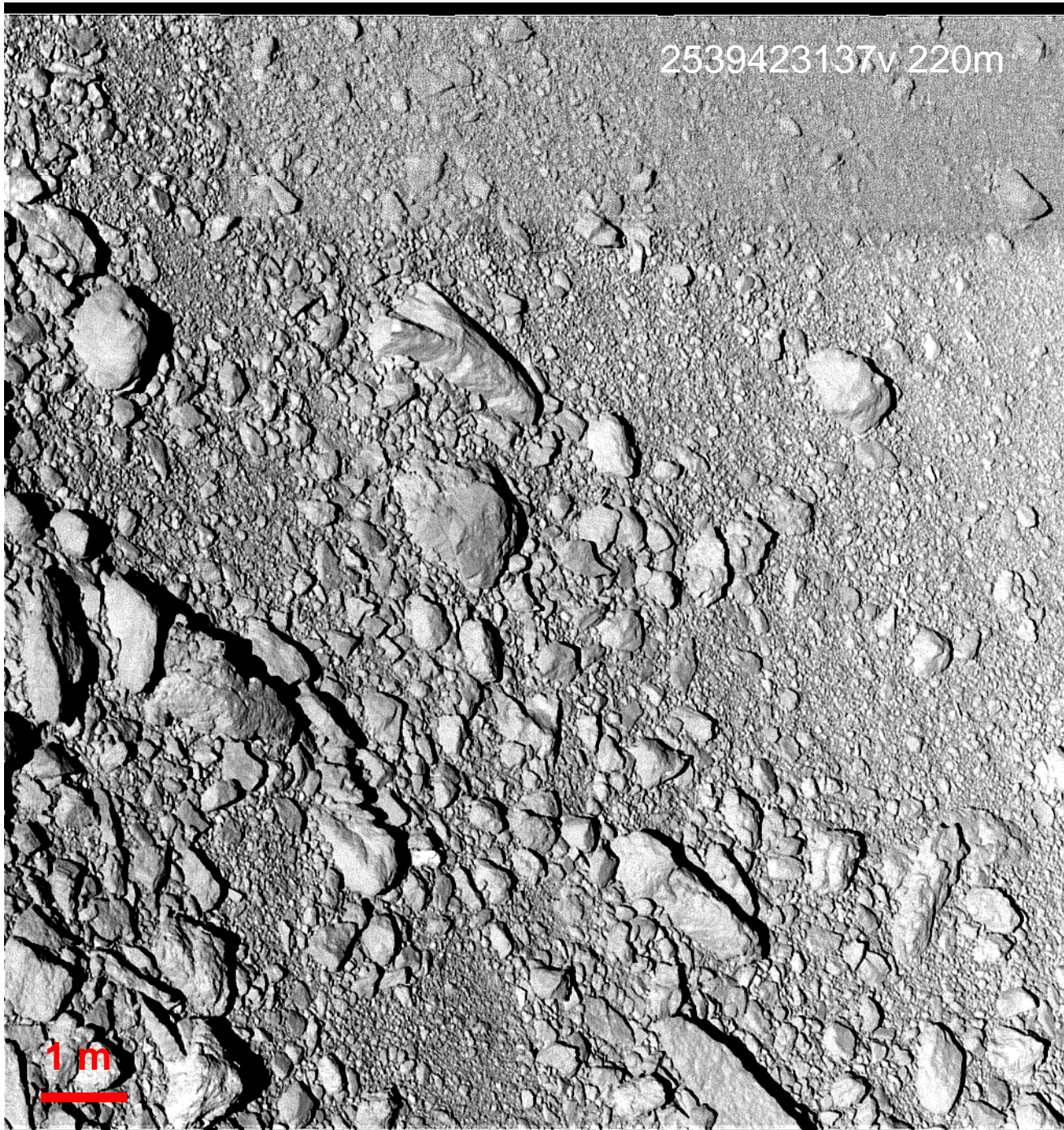


2558581440v 1480m

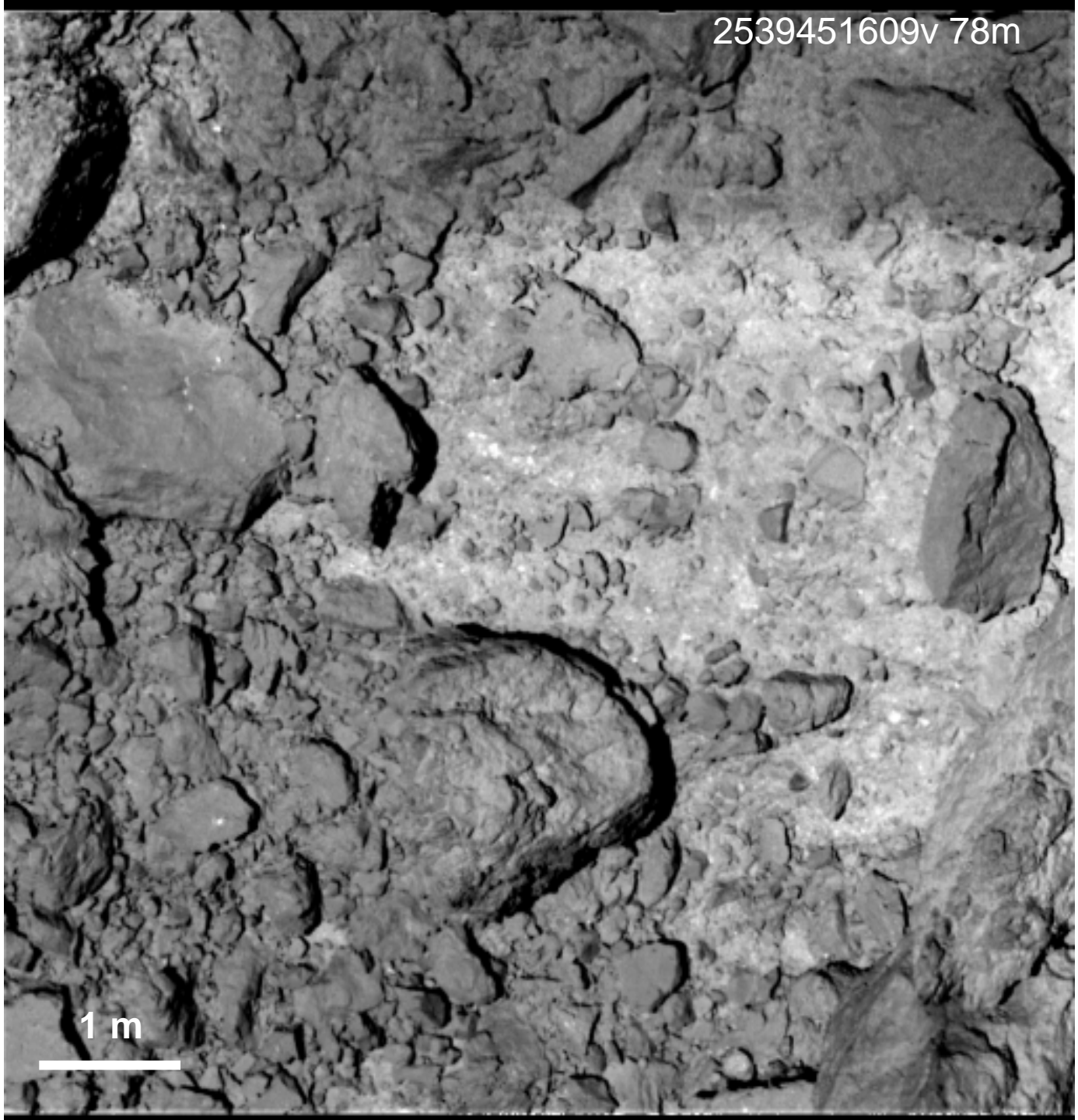
10 m



Boundary
to rough to
smooth
region



2539451609v 78m



1 m

2539429953v 160m

1 m



2539444467v 60m

1 m



253943177v 113m

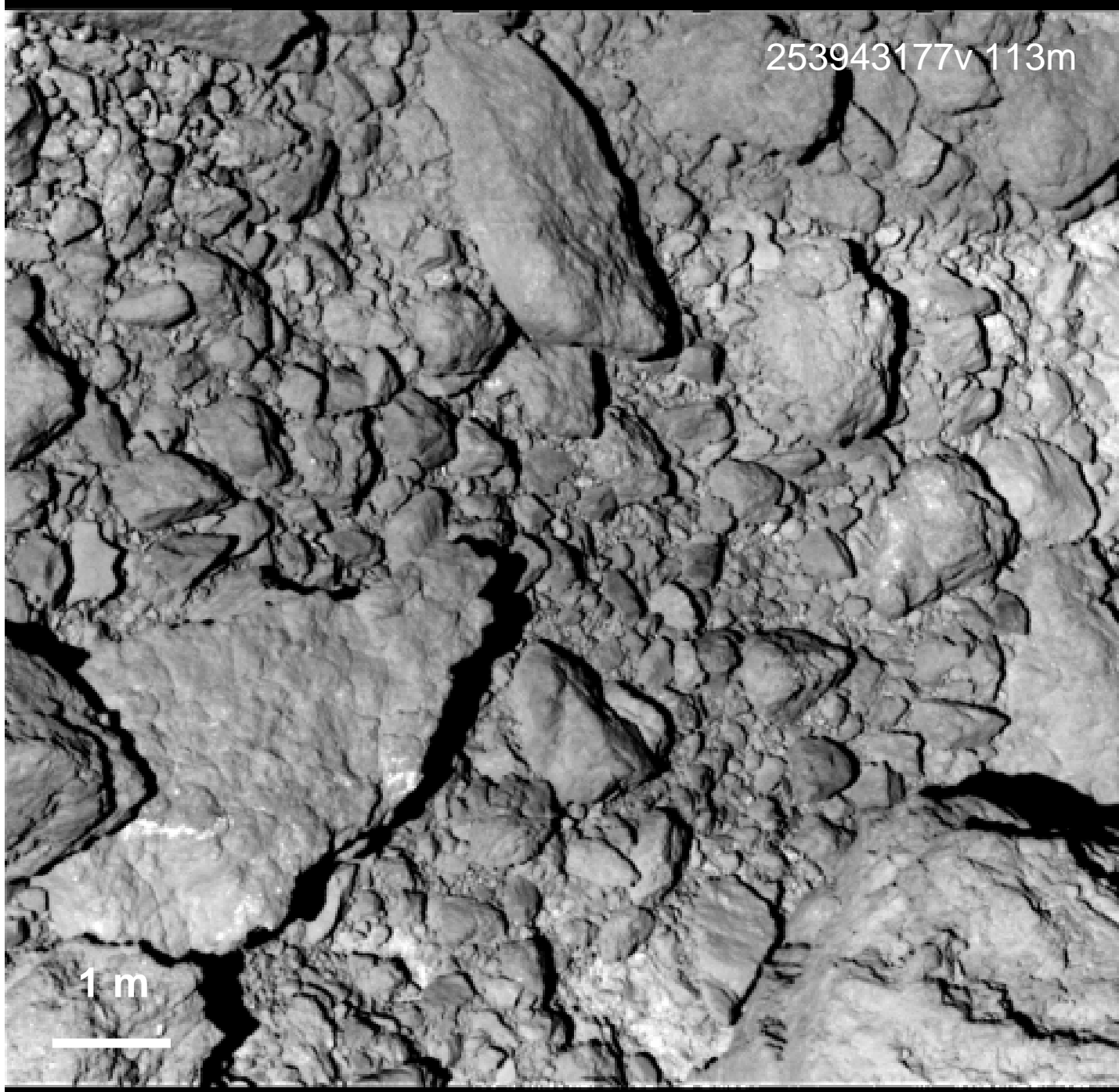
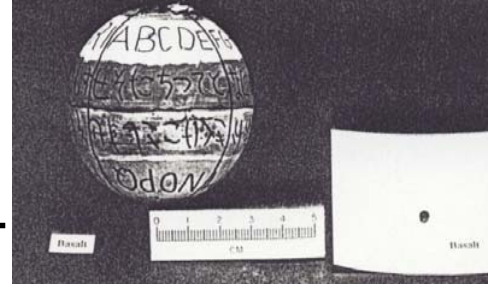


Plate
fragments

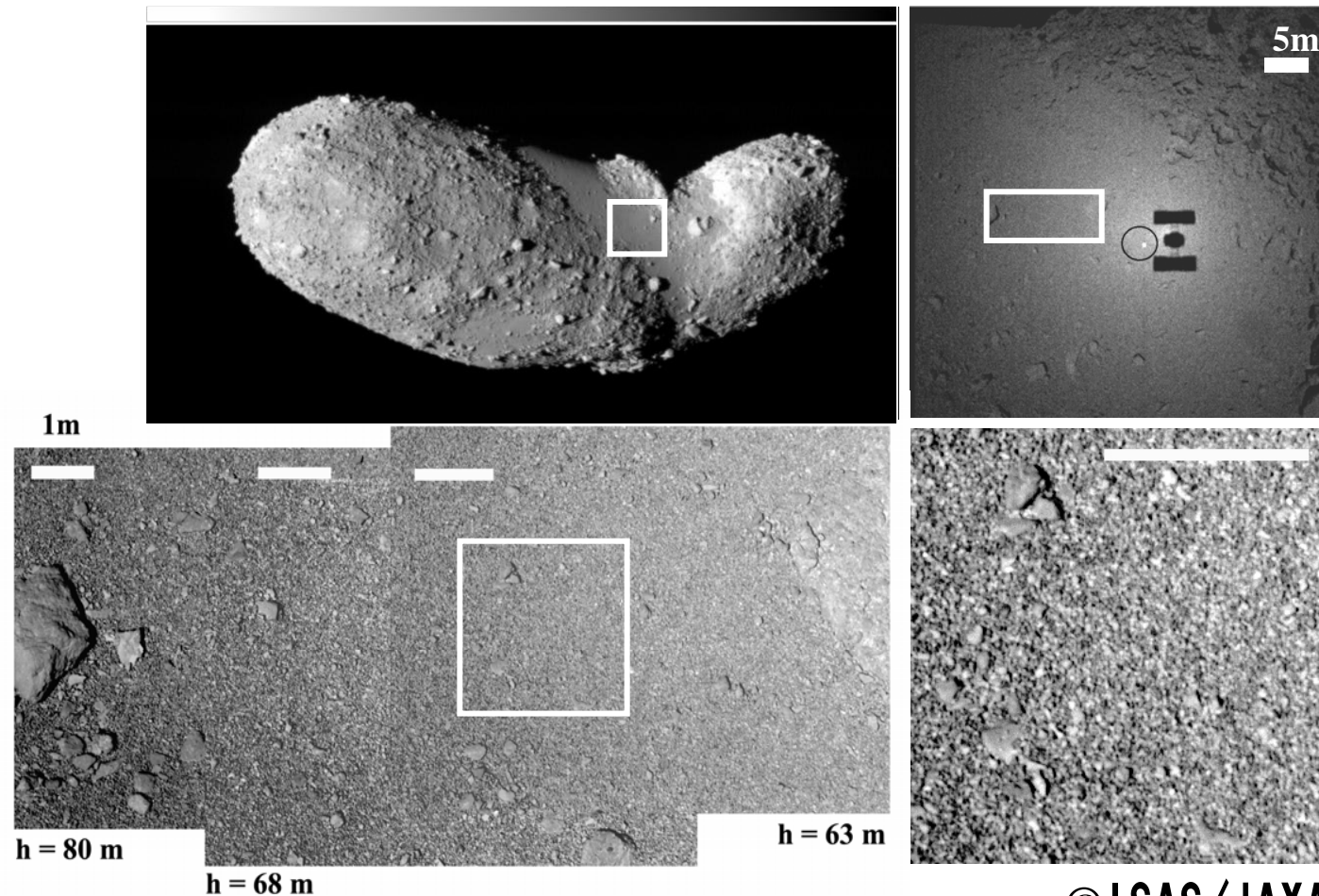
岩石を高速弾丸の衝突によって壊してできる破片



A.M. Nakamura et al.

第一回着陸地点付近の表面の性質

ミューゼスの海は「小石の平原」だった



© ISAS/JAXA

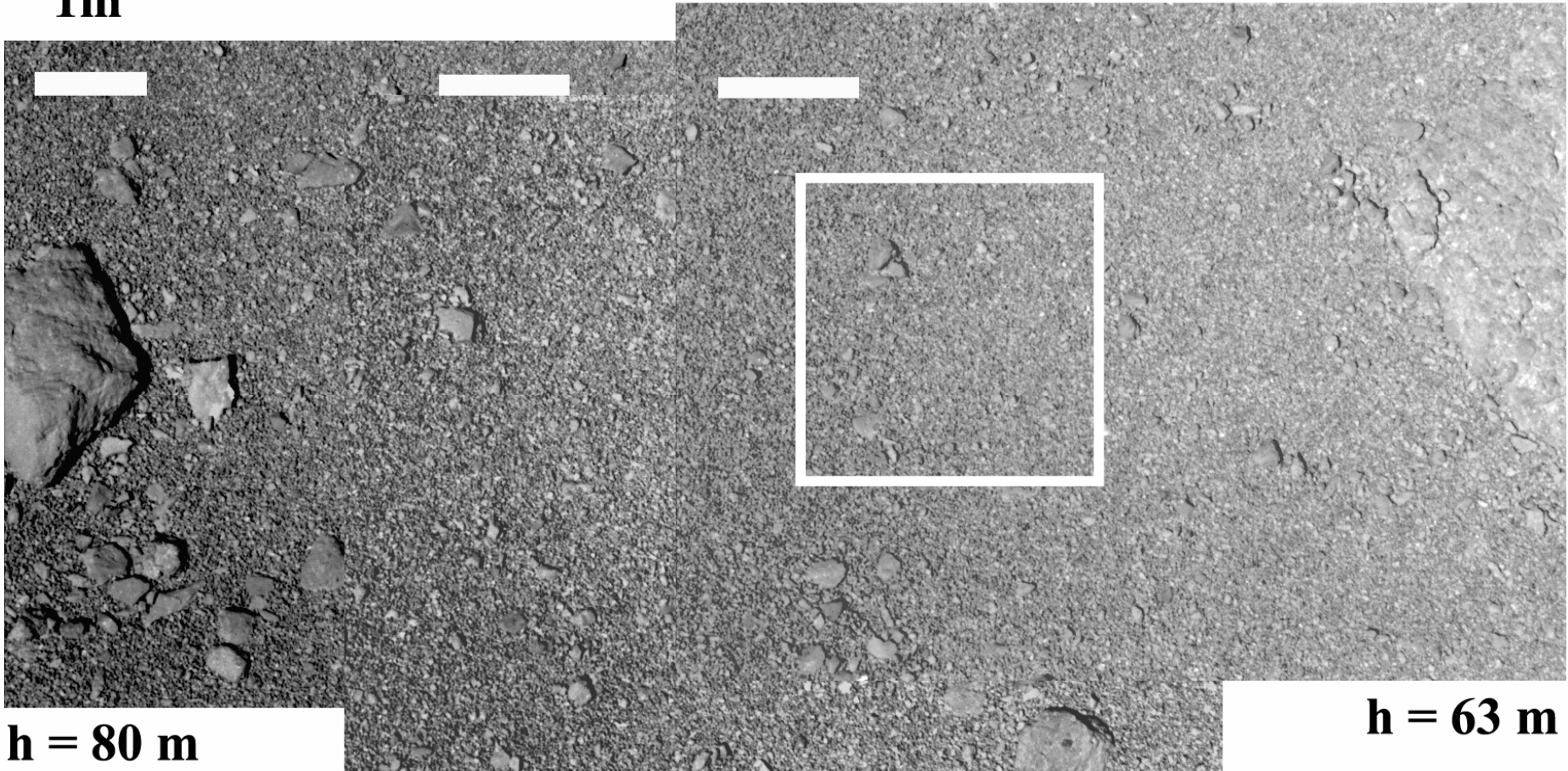
* (1) 史上最高分解能の小惑星画像、(2) 世界初の小惑星表面からの離着陸、
(3) 世界初の小惑星輻射温度の直接測定から解明。

* 地球に回収するサンプルはこの地域のかげらである。

Yano, et al., *Science* (2006)

空間分解能6-8mmの着陸地点最接近画像 史上最も詳しい小惑星表面の画像

1m



$h = 80 \text{ m}$

$h = 68 \text{ m}$

$h = 63 \text{ m}$

Yano, et al., *Science* (2006)

- 地表高度80~63 m (カメラの焦点距離ぎりぎり) まで降下中に捉えた「ミュージアの海」の様子
- 表面の大半では、数cm大に大きさが揃った小石が、まるで平坦な舗装道路のように詰まっている
- 最接近画像の空間分解能は、一画素当り6-8 mm。探査機によるリモートセンシングの地質学というより、地球上での岩石学調査と同レベルの情報量を持っている。

同縮尺の表面： 小惑星エロス、イトカワ、地球上の比較



JAXAの「はやぶさ」探査機による、小惑星イトカワ表面のはやぶさポイント付近
©ISAS/JAXA



砂利を敷き詰めた舗装道路 ©ISAS/JAXA

↑
成人男性の靴

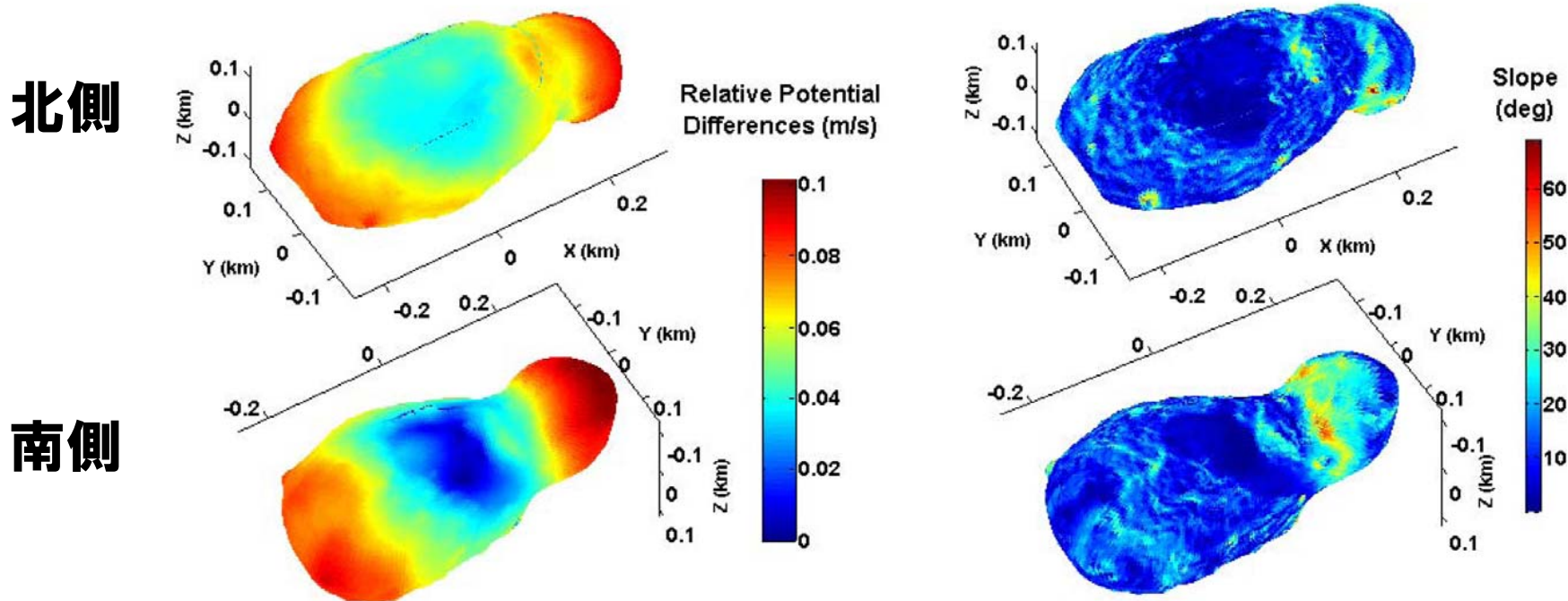
NASAの「NEARシューメイカー」探査機による、小惑星エロス表面の砂池付近

© NASA, APL/JHU

Yano et al., *Science* (2006)

平らな地域の形成

わずかな重力に沿った、外力による小石の移動



- 細粒の物質が選択的に重力ポテンシャルが低い領域へと集積していった形成された可能性がある。
- 衝突時の振動, あるいは 地球などへの接近時の重力摂動などが上記の物質移動を起こした原動力として考えられている

色と明るさの双方の不均一性の発見 今までの小惑星にはない傾向



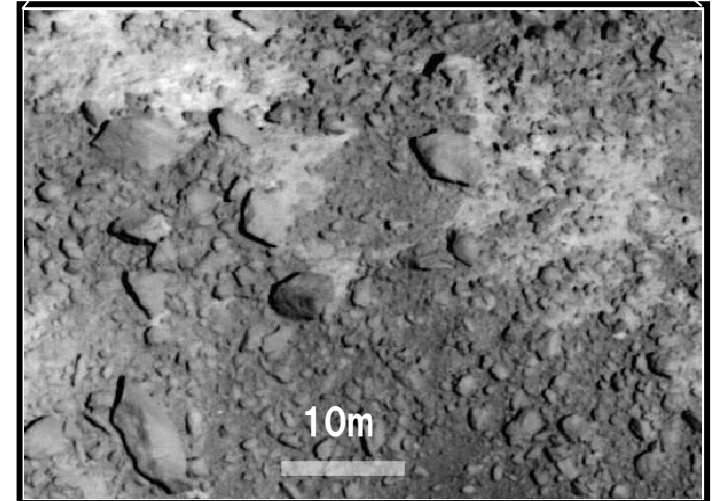
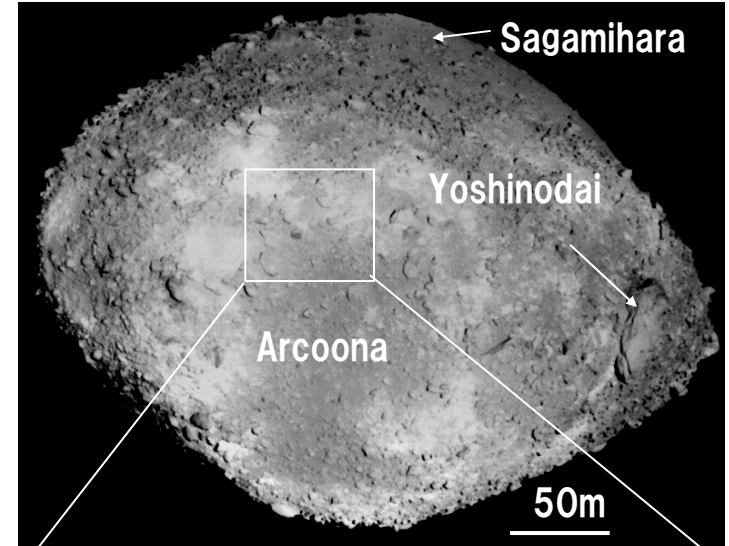
- 今までに探査された小惑星では、色と明るさが両方とも大きく変化するものは見られなかった。
- 全般的に、**明るい部分は青っぽく、暗い部分は赤っぽく**見えている

Saito, et al., *Science* (2006)

明るい部分と暗い部分の混在

宇宙風化と激しい地質活動の証拠？

- 縁が明るい部分を拡大すると、明るい物質と暗い物質が混在していた。
- 放射線や微小隕石によって劣化(風化)した暗い物質が表面にあり、新鮮で明るい物質がその下にあったとすれば、大きな隕石衝突でイトカワが揺さぶられた際に、表面の劣化した物質が局所的に剥げてその下の新鮮な部分を露出させた可能性がある。



劣化したところ

**イトカワ全体が
揺さぶられると**

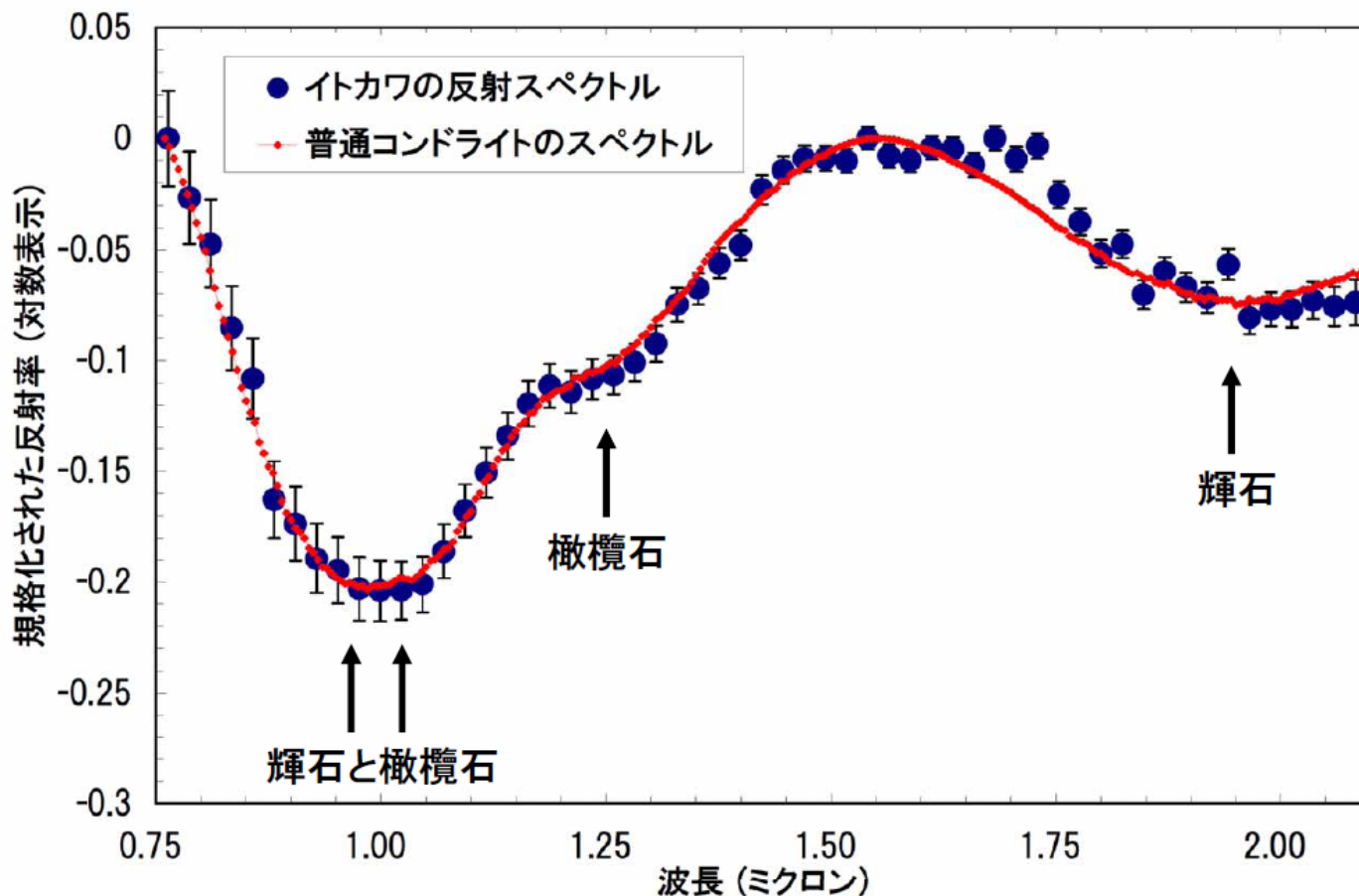
部分的に新鮮なところが
露出する

新鮮なところ



やはりS型小惑星は普通コンドライトのふるさと

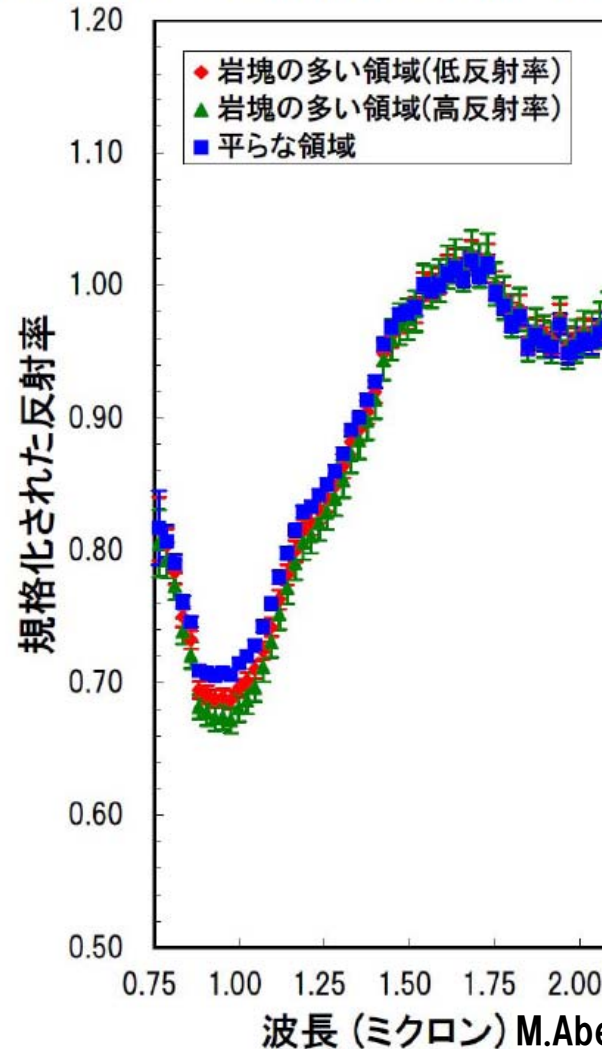
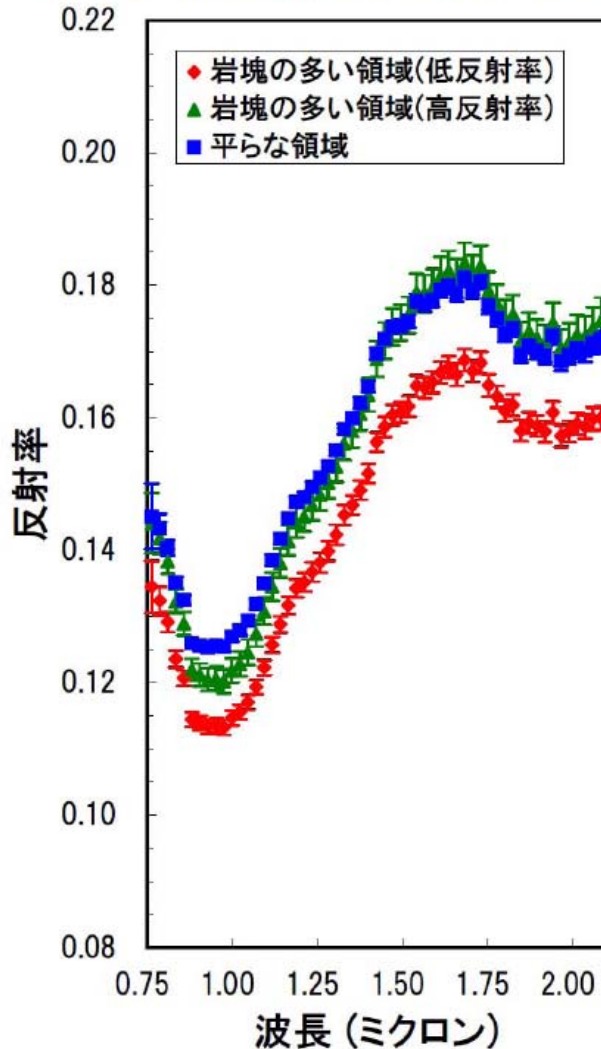
- ・イトカワの表面には輝石と橄欖石が存在する
- ・イトカワの反射スペクトルと普通コンドライトのスペクトルは似ている
- ・S型小惑星と普通コンドライトの対応関係を支持する結果を得た



見かけの違いは粒径の違いと宇宙風化作用の程度

イトカワは、どこでも同じ鉱物でできている

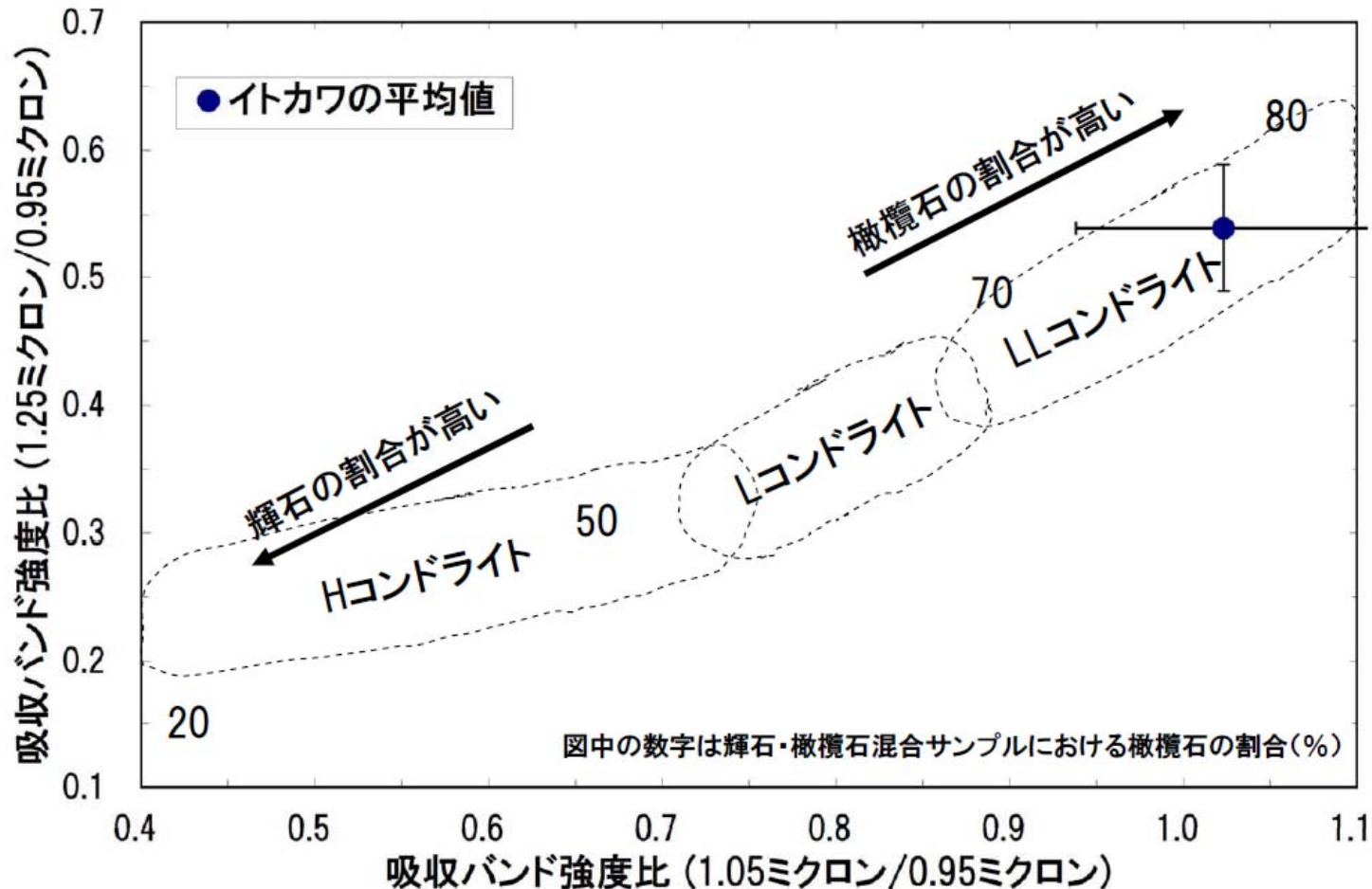
- ・3つの代表的な領域は反射率や1ミクロン付近の吸収バンドの深さに違いが見られる
- ・違いの原因は表面物質の粒径の違いや宇宙風化作用の進行程度の違いだと考えられる
- ・3つの領域の鉱物組成的な違いは見られず、イトカワは始原的な天体である



イトカワはカンラン石の多いS型小惑星

小惑星帯の比較的内側で形成された

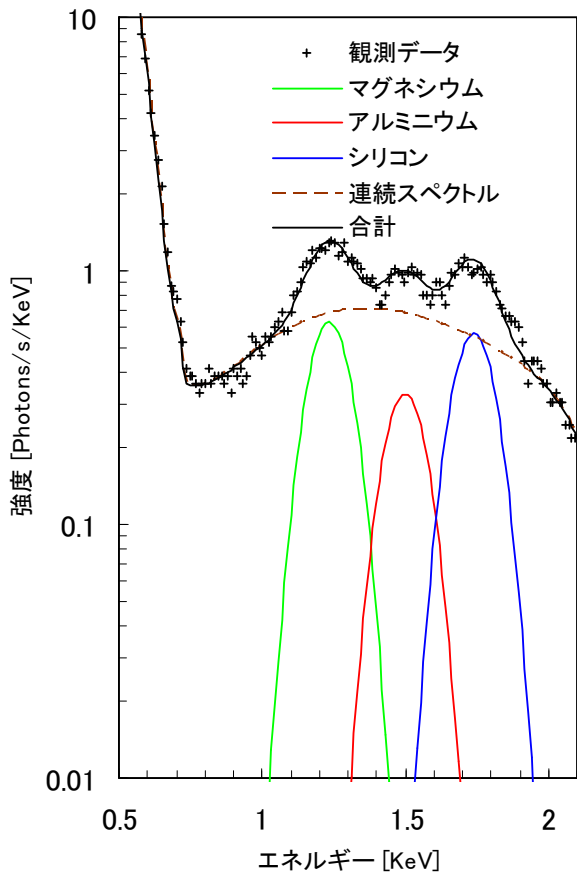
- ・イトカワはS型小惑星としては橄欖石の割合が多い
- ・普通コンドライトの中ではLLコンドライトに近い
- ・橄欖石の割合が高いS型小惑星は小惑星帯の内側に多く、イトカワは小惑星帯の比較的内側を起源としていると考えることができる



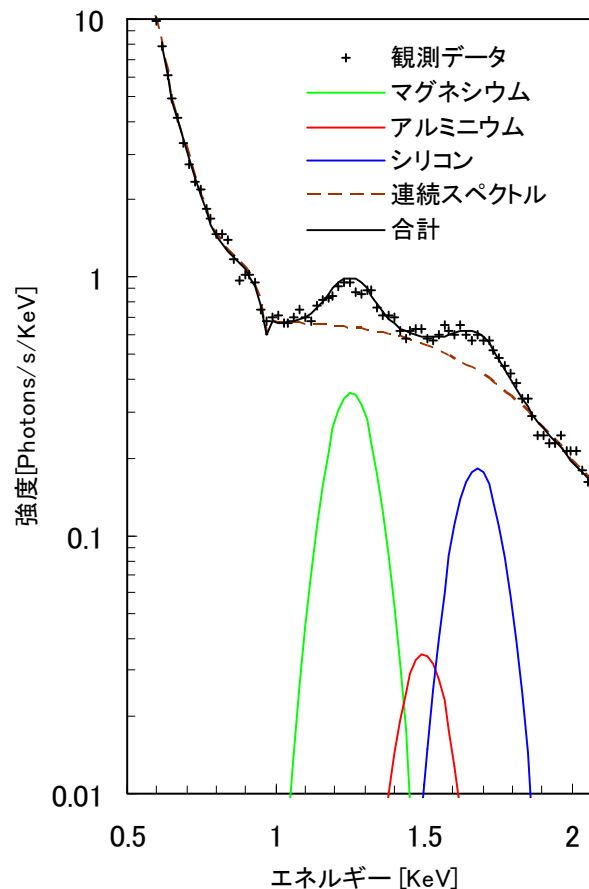
小惑星イトカワのX線観測

普通コンドライトと似た元素組成

搭載標準試料からのX線スペクトル



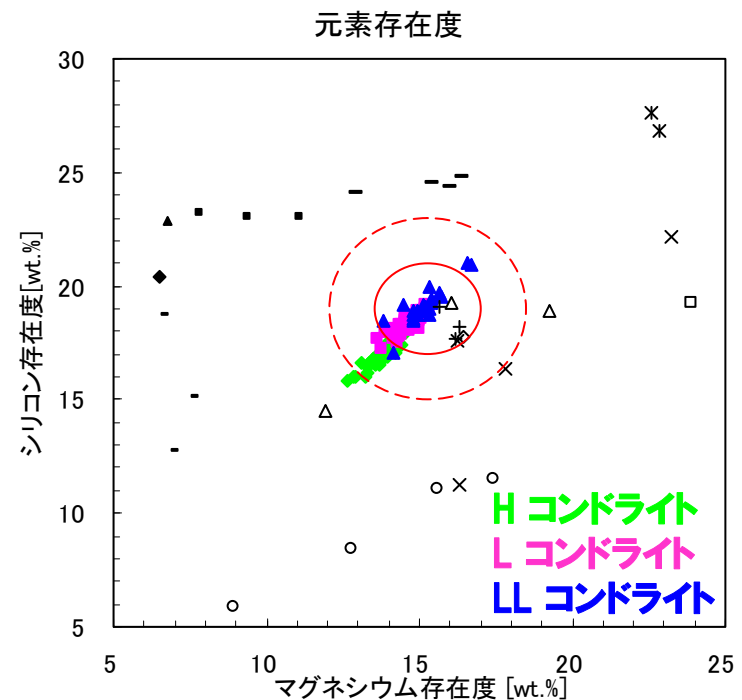
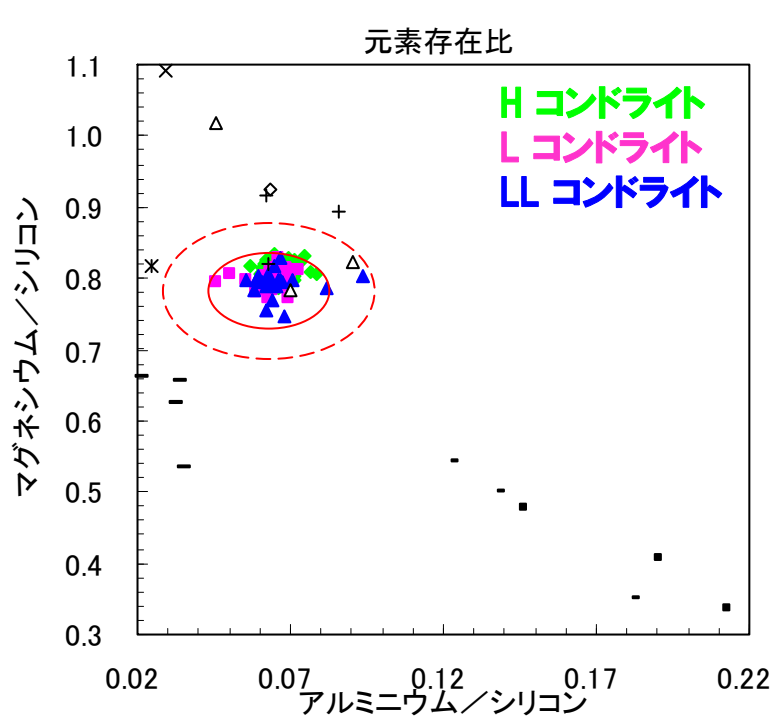
イトカワからのX線スペクトル



•標準試料と比較して、マグネシウムとシリコンの蛍光X線強度比(Mg/Si)が大きく、アルミニウムとシリコンの強度比(Al/Si)が小さい。

イトカワ表面の主要元素組成の特徴

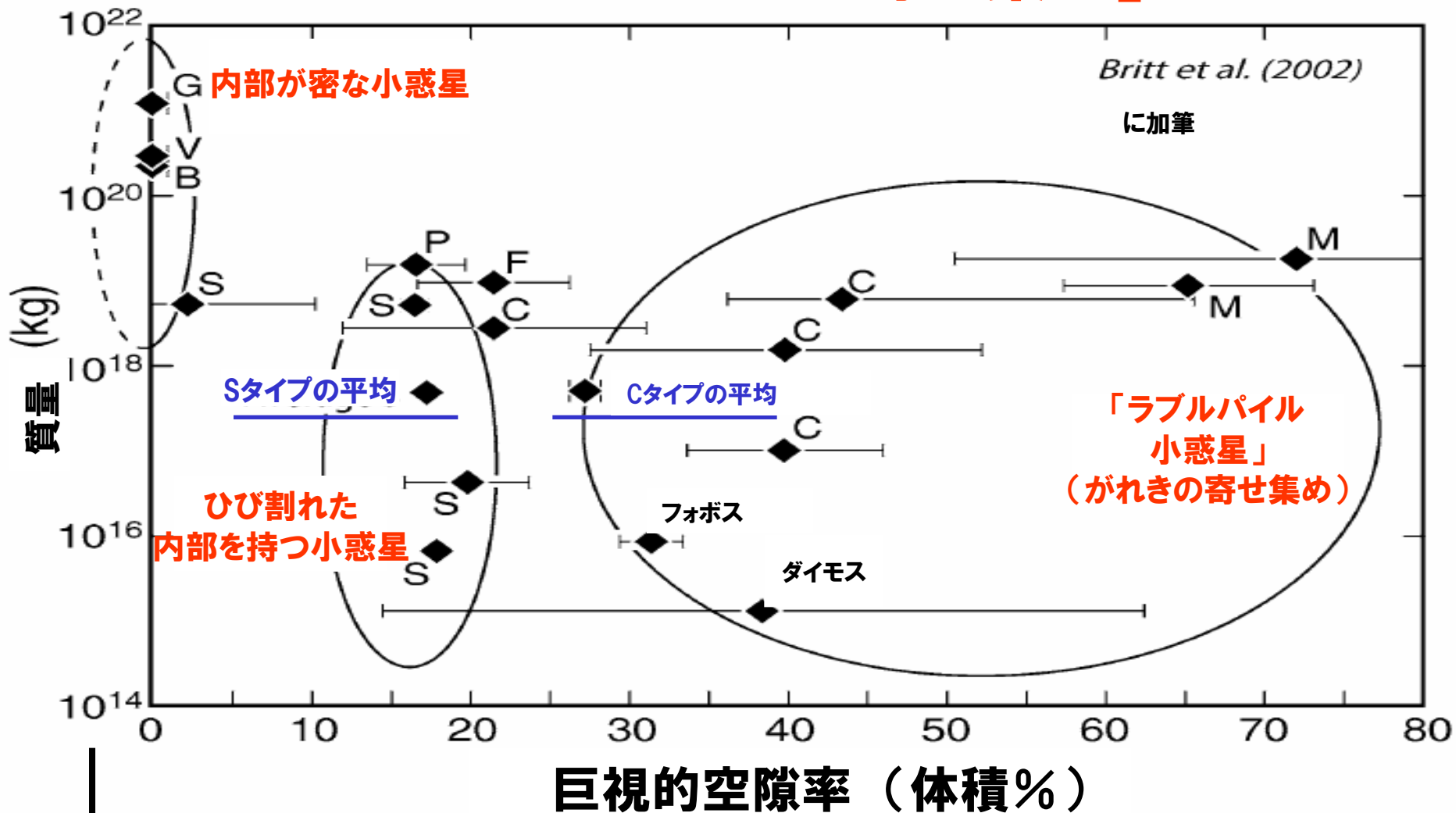
地域ごとの元素のばらつきはあまり見られない



- イトカワの主要元素存在比は、 $Mg/Si = 0.78 \pm 0.09$ 、 $Al/Si = 0.07 \pm 0.03$
- 普通コンドライト隕石の元素組成に近く、LL または L コンドライトと考えられる。但し、始原的な エコンドライトである可能性も否定できない。
- イトカワの場所による元素存在比の違いは見つからない。組成はほぼ一様である。

世界初の微小惑星の空隙率推定

イトカワは「がれきの寄せ集め」



3.58×10^{10} (kg)

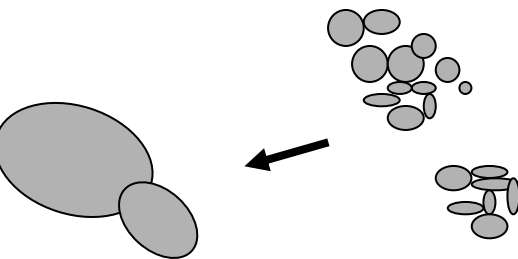


イトカワ誕生のシナリオ

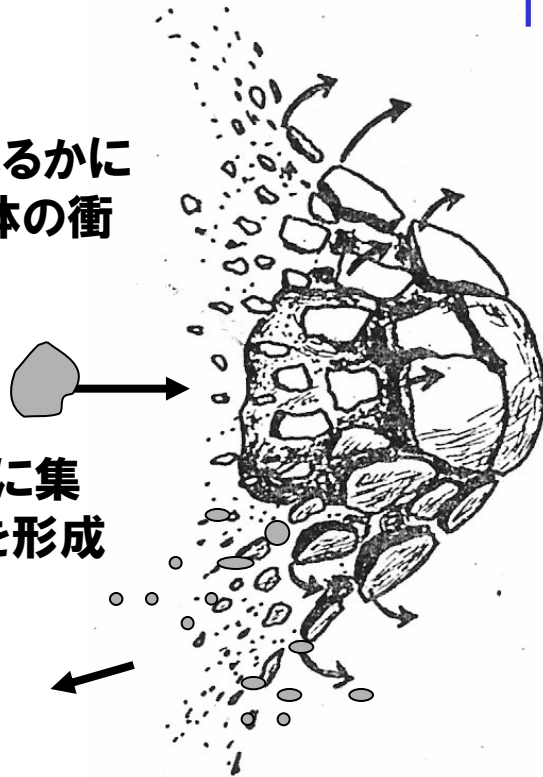
がれきを寄せ集めて作られた、ラッコのかたち

(1) その昔、イトカワよりはるかに大きな母天体が、他の天体の衝突を受けて破壊した

(2) 破片の一部が互いに集積しあって「頭」と「胴」を形成



(3) 頭と胴が接合して、現在のイトカワになった



「がれき寄せ集め説」の状況証拠

- 低密度～40%もの空隙率
- 形状(頭と胴)が丸みを帯びている
- 表面が岩塊で覆われている
- 細長いリッジのような全球に及ぶ構造がない(エロスや火星衛星には見られる)
- ファセットの一部は内部の破片が露出したもの?
- 傾斜角が全体に小さく(多くの地域で緩和)、単体のかたまりではない
- 大きな岩塊は、表面のクレーターから放出されたものではなく、さらに大規模な衝突から生まれたはず

まとめ(1/2):

はやぶさが解き明かしたイトカワの謎

- (1) イトカワは、小惑星の形成過程の有力な仮説だった「がれきの寄せ集め(ラブルパイル)構造」をもつことが明らかになった、最初の小惑星である。
- (2) イトカワのラッコのような形状と高い空隙率は、より大きな母天体が衝突破壊を受けたのち、飛散中の破片群の一部が互いに重力で再び集まって「がれきの寄せ集め」としてラッコの「頭」と「胴」が作られ、さらに二つが合体したという形成シナリオを支持している。
- (3) イトカワはこれまでの探査機がたずねたうちで最小の天体である。その地形は岩塊に覆われた険しい地域とcmオーダーの砂利が敷き詰められた平坦な地域に、くっきりと分かれている。史上最高の分解能の最接近画像などから、最もポテンシャルの低い地域ですら深い粉体層に覆われていないことが分かった。これほど明確な二分性を持った小惑星は、イトカワ以外に見つかっていない。これは微小天体ゆえの特徴であり、惑星形成の第一歩を考える上でのまったく新しい知見をもたらしてくれた。

まとめ(2/2):

はやぶさが解き明かしたイトカワの謎

- (4) 複雑な地形にも関わらず、全球を通じて鉱物、主要元素組成の分布はほぼ一様であり、多少の違いは粒径や宇宙風化で説明できる。これは一度も分化していない始原的な小惑星であることを示唆している。またこれらの物質情報は、S型小惑星であるイトカワの材料が普通コンドライトに対応していることを支持している。
- (5) イトカワは地上観測によるスペクトル型(S型)、自転周期、その他の属性からみても、ごくありふれた小惑星であり、大きさも1kmを切る小型ゆえに数も圧倒的に多い。イトカワ以前の惑星探査機が訪ねた小惑星は全て、10kmオーダーであった。今回のはやぶさ探査によって、人類は初めて、もっともありふれた小惑星の真の姿を目の当たりにした。これは今後の全ての小惑星探査における重要な指標となる。また、地球に衝突する危険性のある小惑星に対する、史上初の探査でもある。
- (6) イトカワの誕生と進化には、衝突—破壊—集積プロセスが複雑に働いたことが推定される。この過程は惑星系の進化を考える上でもっとも重要なプロセスのひとつであり、今後の研究によって、さらにこのメカニズムの理解を深めることができる。

謎，課題，・・・そして期待

- 内部構造は？ ラブルの大きさは？
 - これまで探査された エロスなどから得られた小惑星の描像との整合性は？
 - らっこ形の起源は？
 - 振動と粒子の移動は低重力下でどのようにおこったか？
 - ボルダーやクレーターのサイズ分布，空間分布からたどれる歴史は？
 - 衝突史は？（衝突破壊の物理）
 - 他の形成シナリオ？
-
- サンプルへの期待
 - 衝突過程の真の理解へ向けて実験と理論—惑星形成の鍵
 - 遠く of 天体の起源を考える糸口に

始原天体のプログラムの探査構想

◆1st Step:

「はやぶさ」の探査(S型)で主に内側の小惑星の性質が分かる。

◆2nd Step:

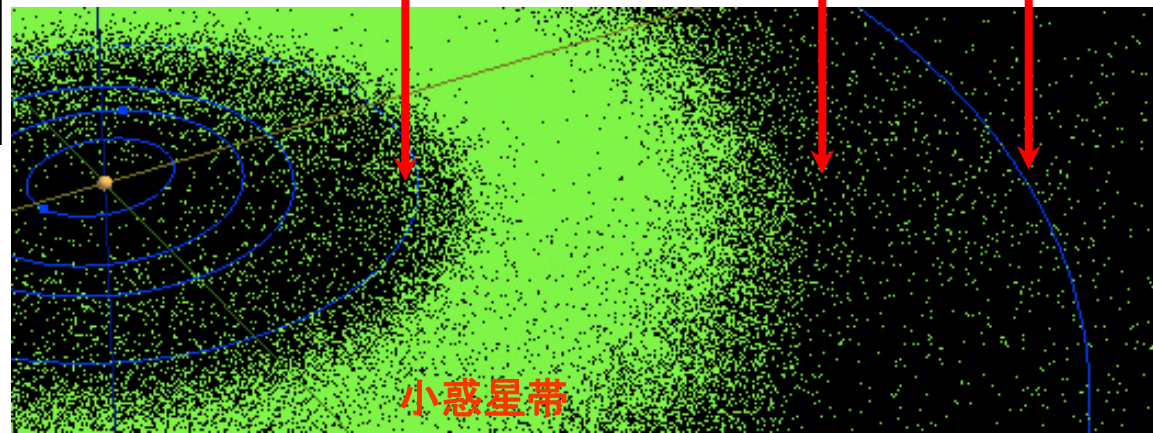
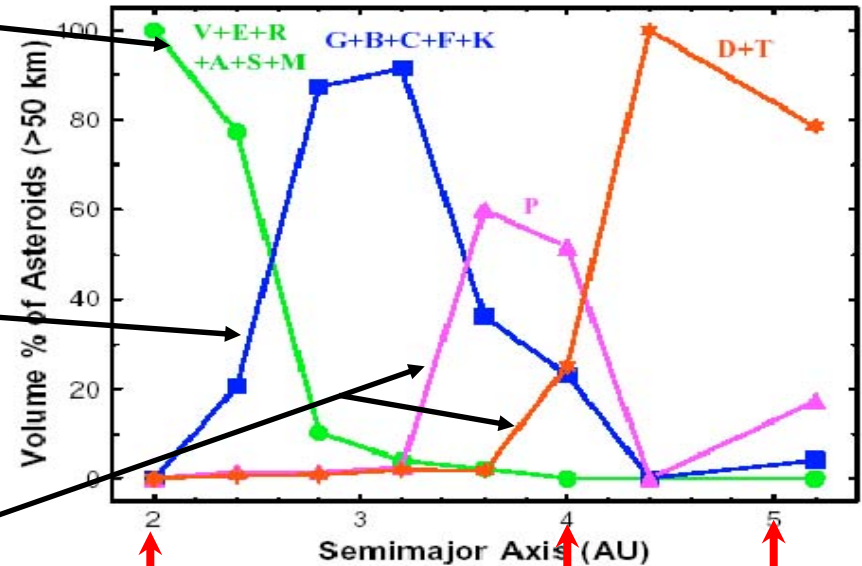
「はやぶさ2」の探査(C型)で、主にメインベルトの小惑星の性質が分かる。

◆3rd Step:

さらに遠方の小惑星の性質を調べ、小惑星帯の全貌を知る。

◆4th Step and future:

彗星やカイパーベルト天体などより始原的な天体を調べる。



**真理の大海原（おおうなばら）が全く開拓
されていないのに、自分は、その海辺で美
しい小石や貝を拾って遊ぶ子供のようなも
の・・・？**

ではない。

**われわれは真理にむかって確実に
一歩を踏み出しつつある。**