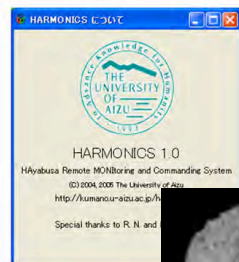
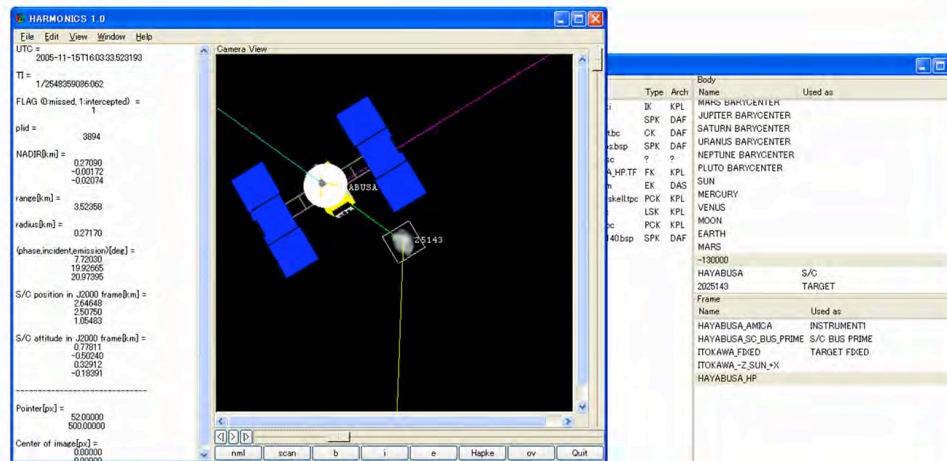


# 小惑星探査機『はやぶさ』における データ解析の実際

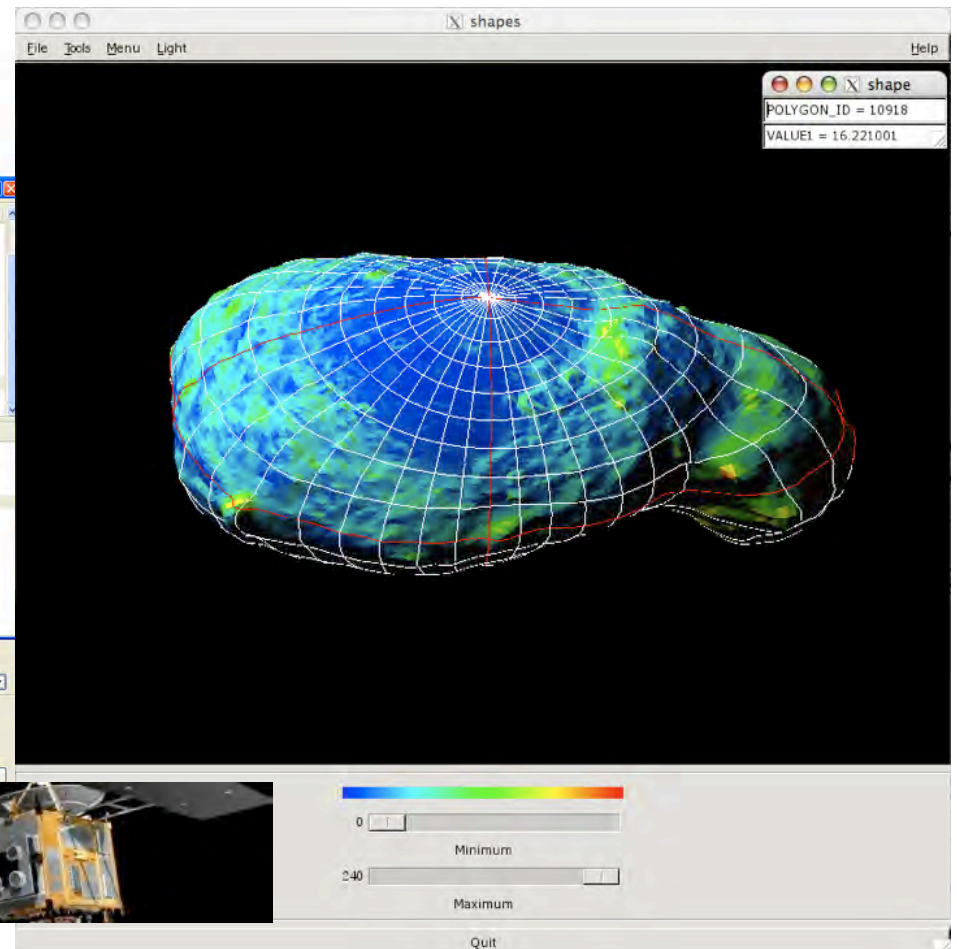
出村 裕英(会津大), はやぶさScience Team

2009, 8/20第2回データ科学WS(科学情報学研究会)@北大

## HARMONICS 1.0

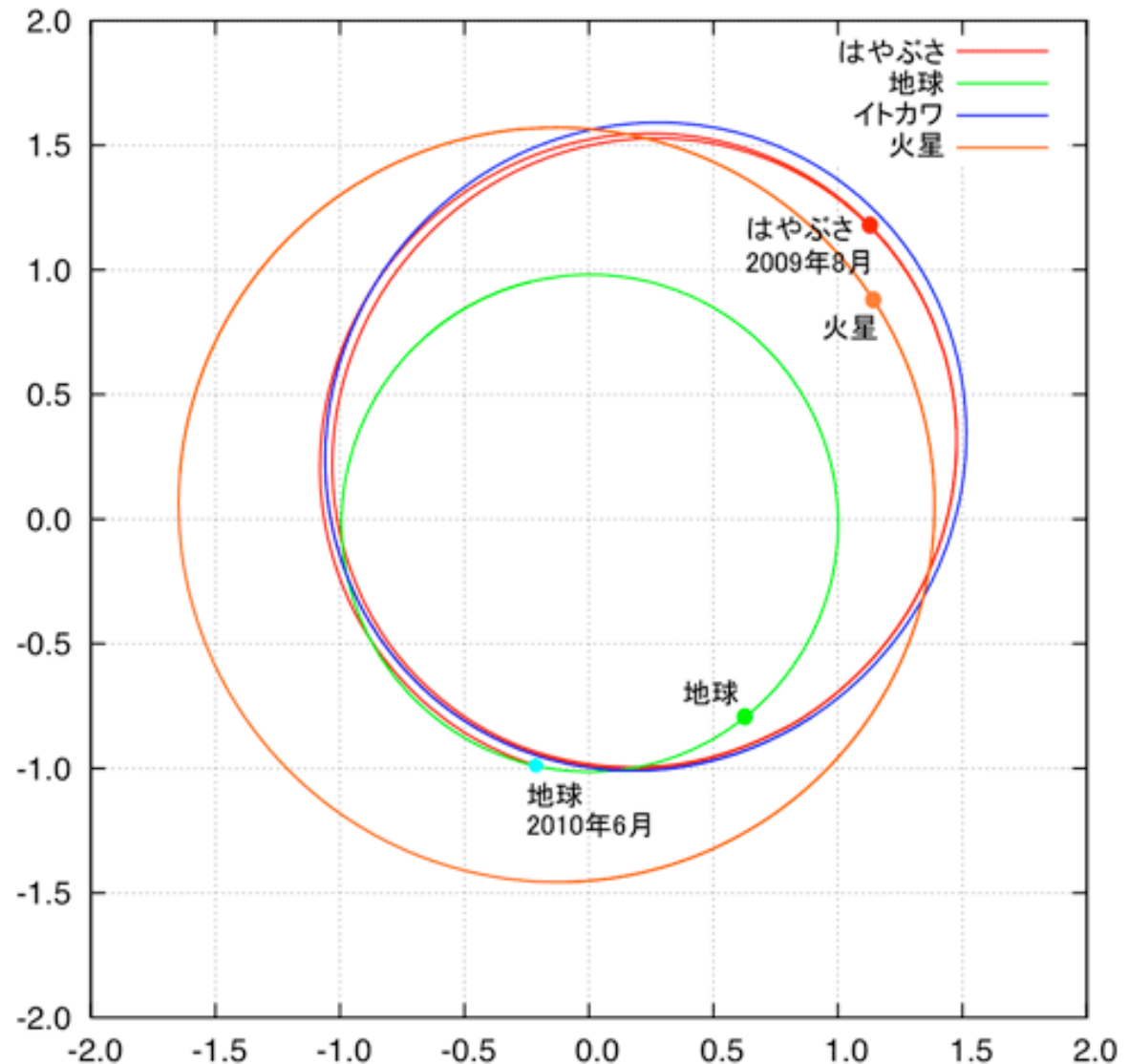


The screenshot shows a dialog box for adding a new body. It includes fields for X, Y, Z coordinates, Frame, Observing body name, S/C Attitude (q0, q1, q2, q3), and Pointing (Frame, Target).



# 「はやぶさ」は、いまどこに？

- 2010年6月帰還を目指して最終段階に入っています。
- いまのところ無事に飛行しています。



# はやぶさデータ公開サイト

<http://hayabusa.sci.isas.jaxa.jp/index.php>



Japan Aerospace Exploration Agency

Institute of Space and Astronautical Science



- 機器紹介
- データ
  - 分光多帯カメラ
  - 可視近赤外分光計
  - レーザ測距計
  - X線分光器
  - SPICE
  - 形状モデル
- 文献
- 関連サイト

Home

Instruments

Data

AMICA

NIRS

LIDAR

XRS

SPICE

[Shape Model](#)

Publications

Related Sites

– Welcome to Hayabusa Project Science Data Archive Information System –

This archive site provides access to Hayabusa mission derived data of the main mission target asteroid, 25143 Itokawa and of in-flight instrument calibration. As of April 24, 2007, data for the Hayabusa Science Data Archive is available online.

• **New Addition** (08/12/08): the [Update Information Page](#) is open.

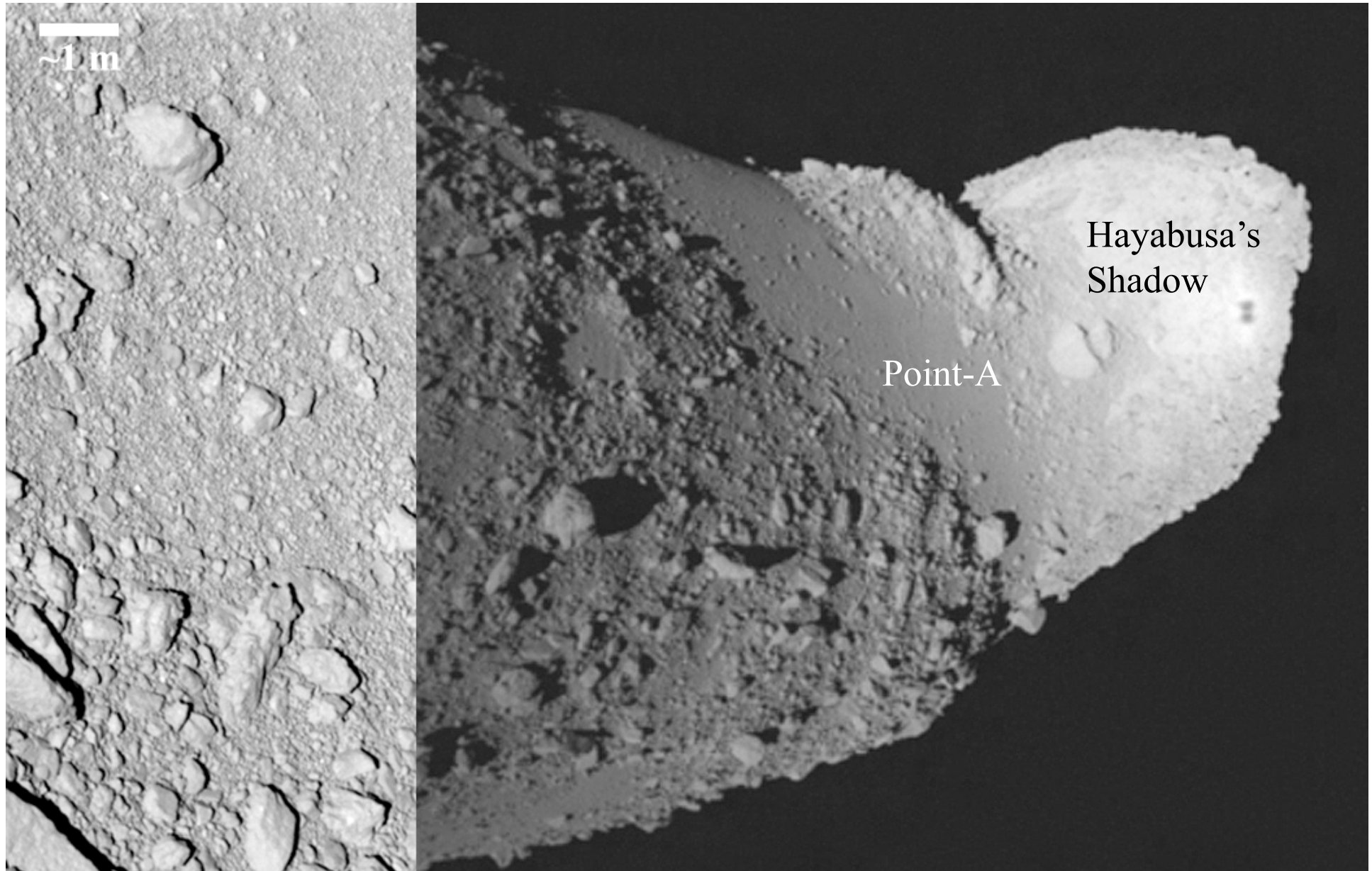
## Mission Overview

The Hayabusa (the original code name was MUSES-C) engineering spacecraft was designed to acquire samples from the surface of near-Earth asteroid 25143 Itokawa (1998 SF36) and return them to Earth. The main objectives of the mission were to demonstrate the performance of various technical items such as ion engines, autonomous navigation, sampling of the asteroid's surface, and high-speed reentry into the Earth's atmosphere. In addition, important scientific results were expected from this mission.

HAYABUSA spacecraft was launched by the fifth Mu V launch vehicle on 9 May 2003. After cruising with nearly continuous operation of the ion engines and an Earth swingby on 19 May 2004, the spacecraft arrived at an altitude of about 20 km (Gate position) near the sub-Earth point on 12 September 2005. After a period of reconnaissance operation, the spacecraft transferred to the nominal hovering position (Home position) on 30 September 2005, at an altitude of about 7 km from the asteroid's surface and near the sub-Earth point. During 8 to 28 October 2005, the spacecraft left the home position and made tours to various altitudes and solar phase angles to access the polar regions. A sampling location on a smooth terrain called Muses Sea was selected. The touchdown, the 30-min stay on the asteroid surface, and the liftoff were performed on 19 and 25 November. HAYABUSA is now under preparations for its return trip to the Earth in 2010.



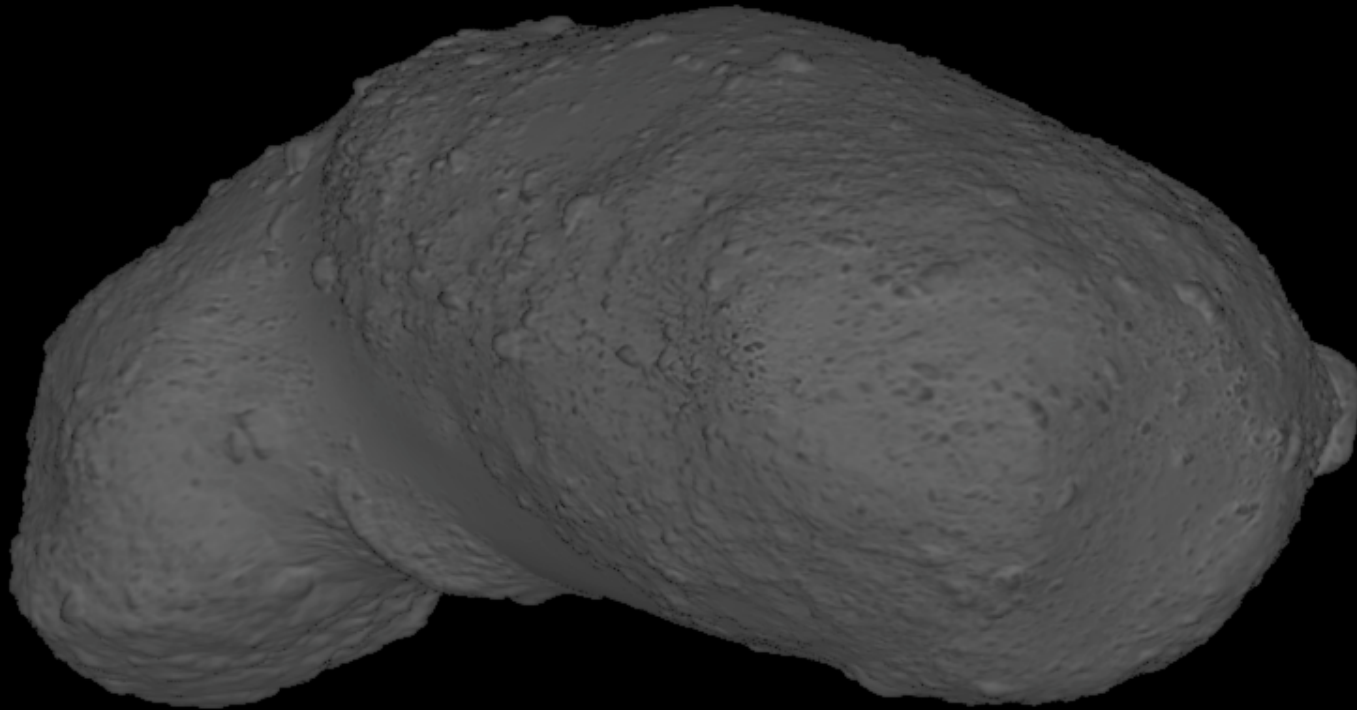
# カメラ (AMICA) のデータ例



# SPICEって何？

- NASAジェット推進研究所(JPL)のNAIF-node (Navigational Ancillary Information Facility) が管轄・供給する補助データ群と、それを扱うツール(関数)の総称。異なるミッションでも同じ処理は同じように扱えるのがメリット。
  - 前者は、カーネルと称されるファイルで管理される。
  - 後者のみを指す場合はSPICE ToolkitあるいはNAIF Toolkitとも。
- SPICEとはSpacecraf(探査機), Planet(対象天体), Instrumen(機器), C-matrix(姿勢・指向), Event(運用履歴)の頭文字を取ったもの。
- 日本のミッションでも「はやぶさ」, 「かぐや」で使用実績がある。
- 『はやぶさ』で管理されるカーネルファイル一覧
  - SPK:探査機・対象物の位置・速度を時間の関数で表したもの
  - PCK:対象物の物理量など
  - IK:観測機器のアライメント情報など
  - CK:探査機の姿勢を時間の関数で表したもの
  - SCLK:探査機内時計と実時間の交換比率など

元JPLのGaskellさん作成形状モデル  
(写真ではありません！)



# 公開されているのは生データ

- はやぶさ運用・初期解析段階と同じ状況
  - 写真を見て、空間配置を『脳内合成』したり、複数方向から見た手書きの見取り図で議論されていた。

これでは、やってられない！！！！

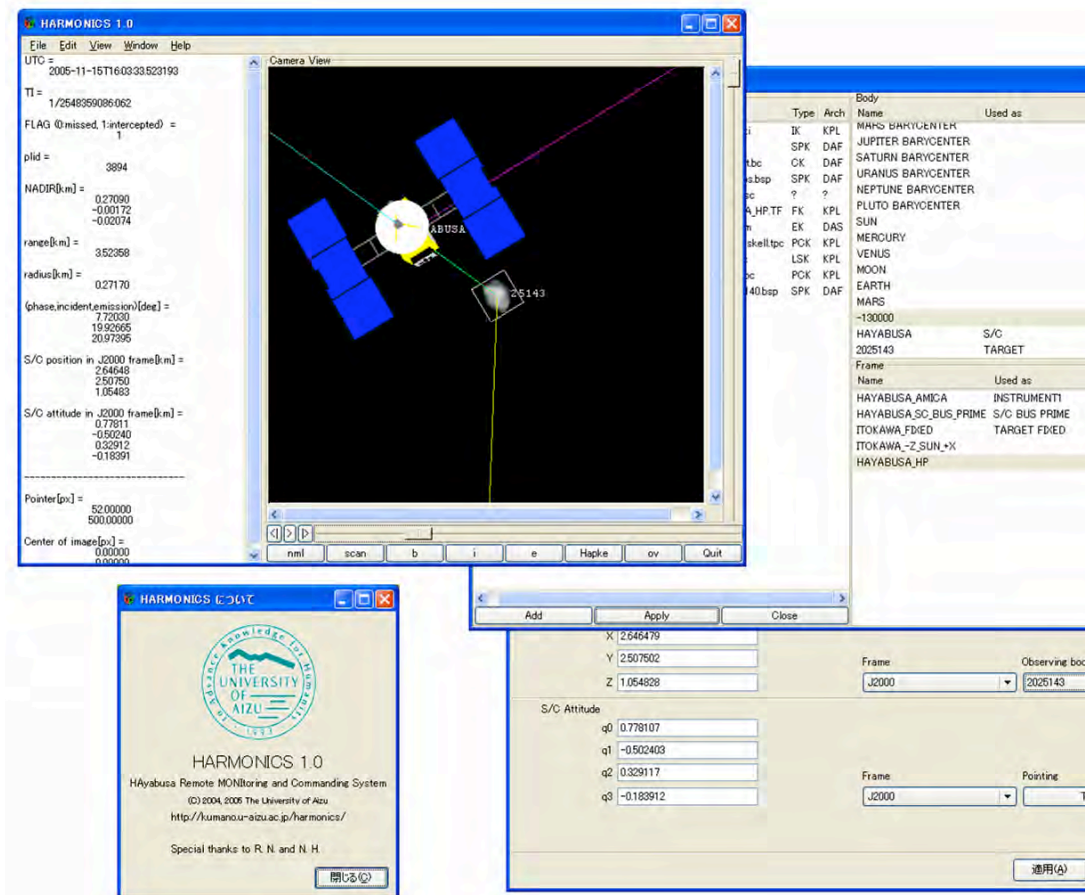
- 色々準備していた形状モデル関係は比較的容易に可視化され(HARMONICS)、色の違いよりも地形や起伏(粗度)特徴に皆の注目が集まった。
- 世の中に不規則形状天体向け地理情報システムは存在しないので、HARMONICSに続いて作ってみた。

# 会津で開発された運用支援可視化 ツール:HARMONICS

## HAYabusa Remote MONItoring & Commanding System

- 形状モデル、SPICEカーネルデータを読み込んで可視化。
  - 小惑星「イトカワ」と探査機「はやぶさ」の幾何配置
  - その時のカメラ視野
- これで撮像計画立案
- 撮像画像から逆に形状モデルの評価・更新も。

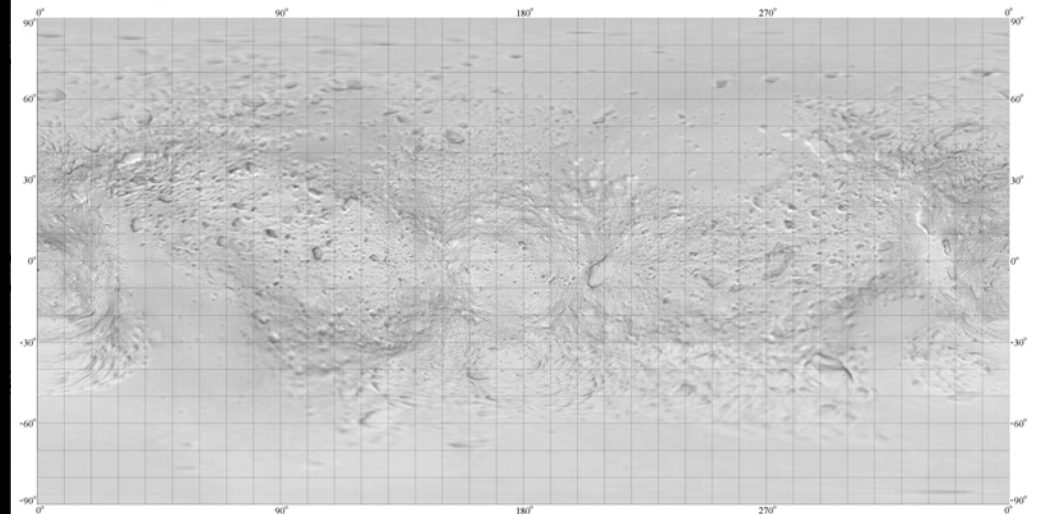
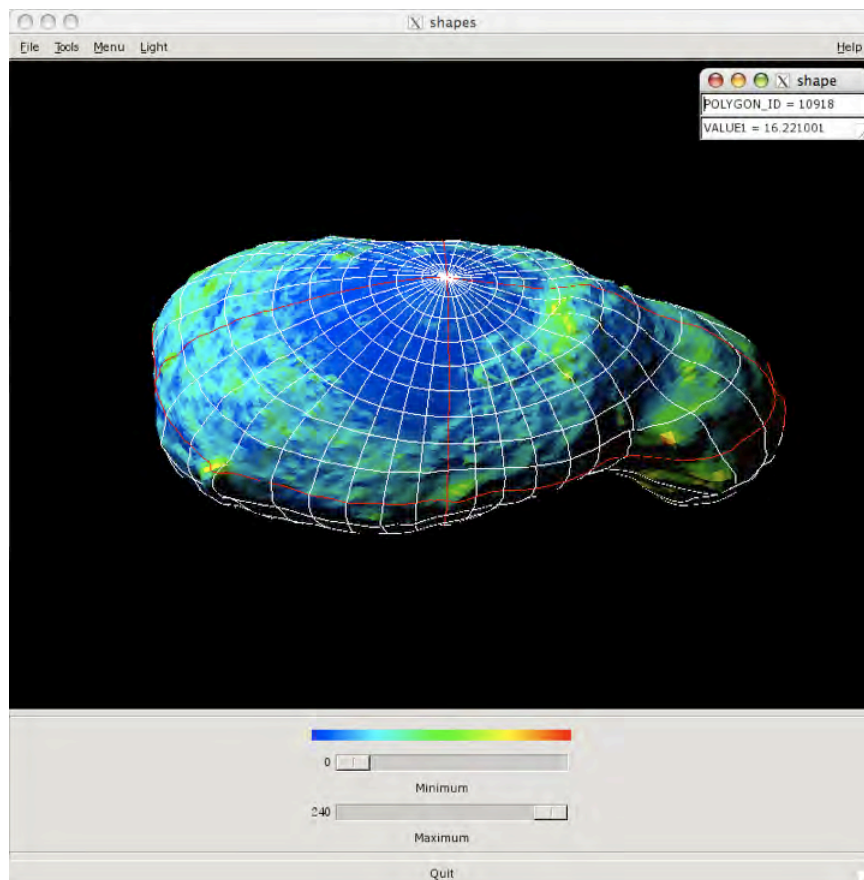
### HARMONICS 1.0





# 三次元GISツールの必要性

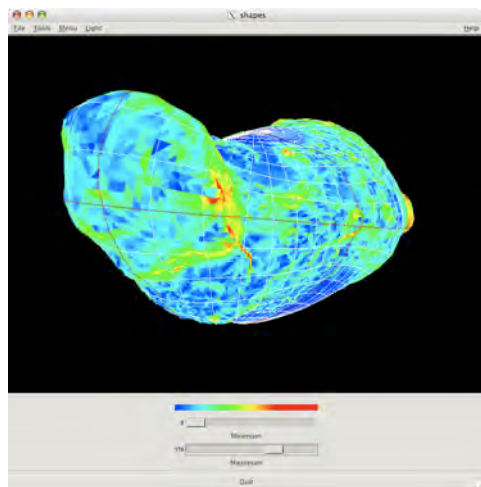
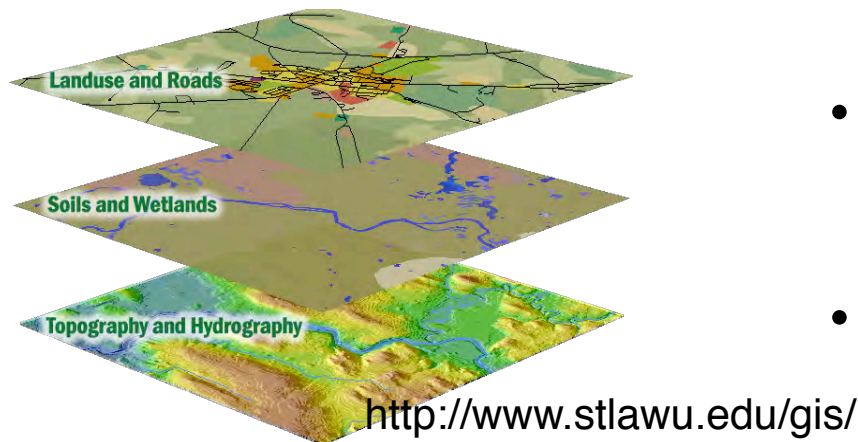
- 計算機内の仮想小惑星の方が可読性が高い
- 一投影法では、場所によって分解能が異なり、  
下図右から左をイメージすることは困難。



25143 Itokawa

Map by Philip J. Stooke, 2009  
based on a shape model by Robert Gaskell

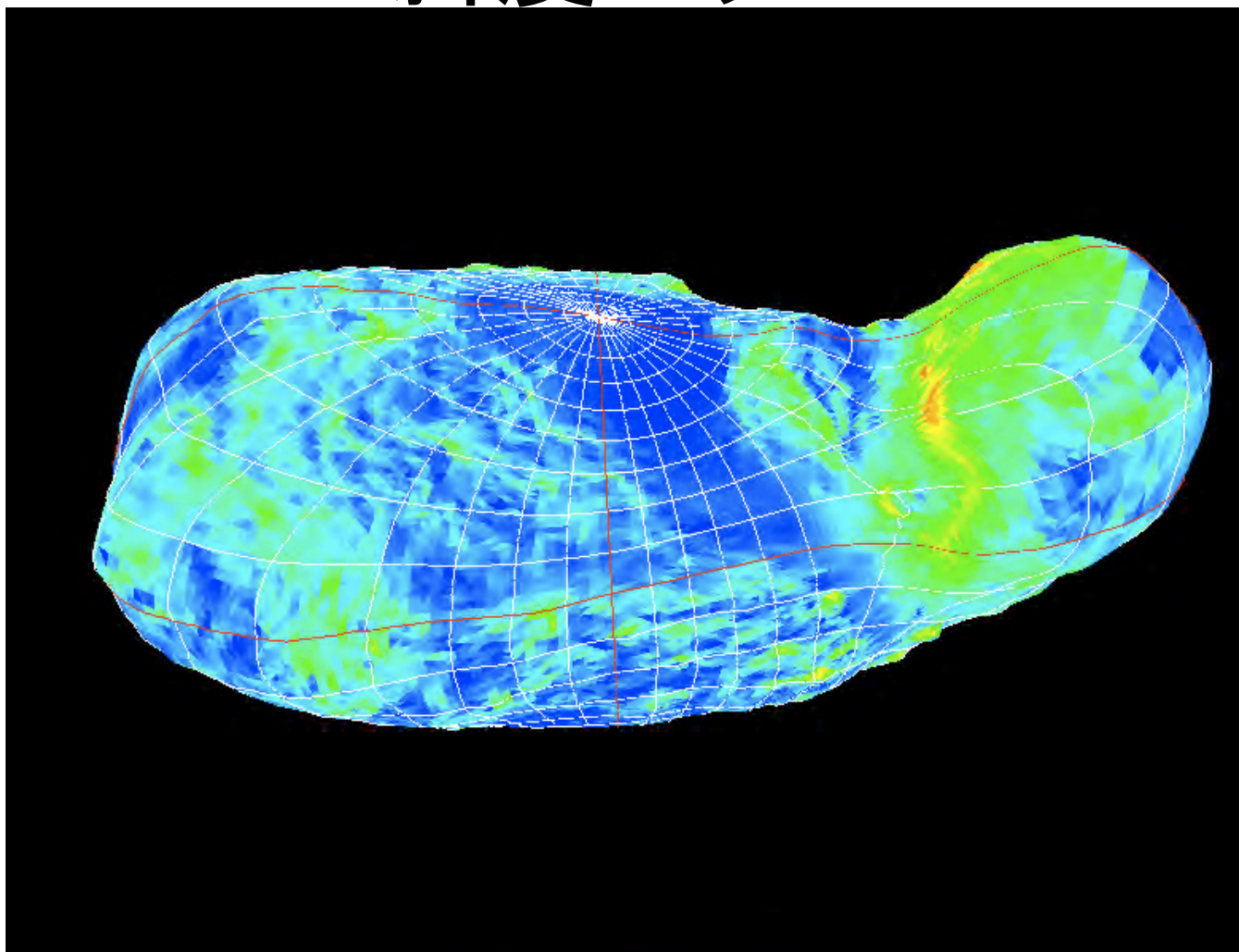
# GIS - Geographical Information System (地理情報システム)って何？



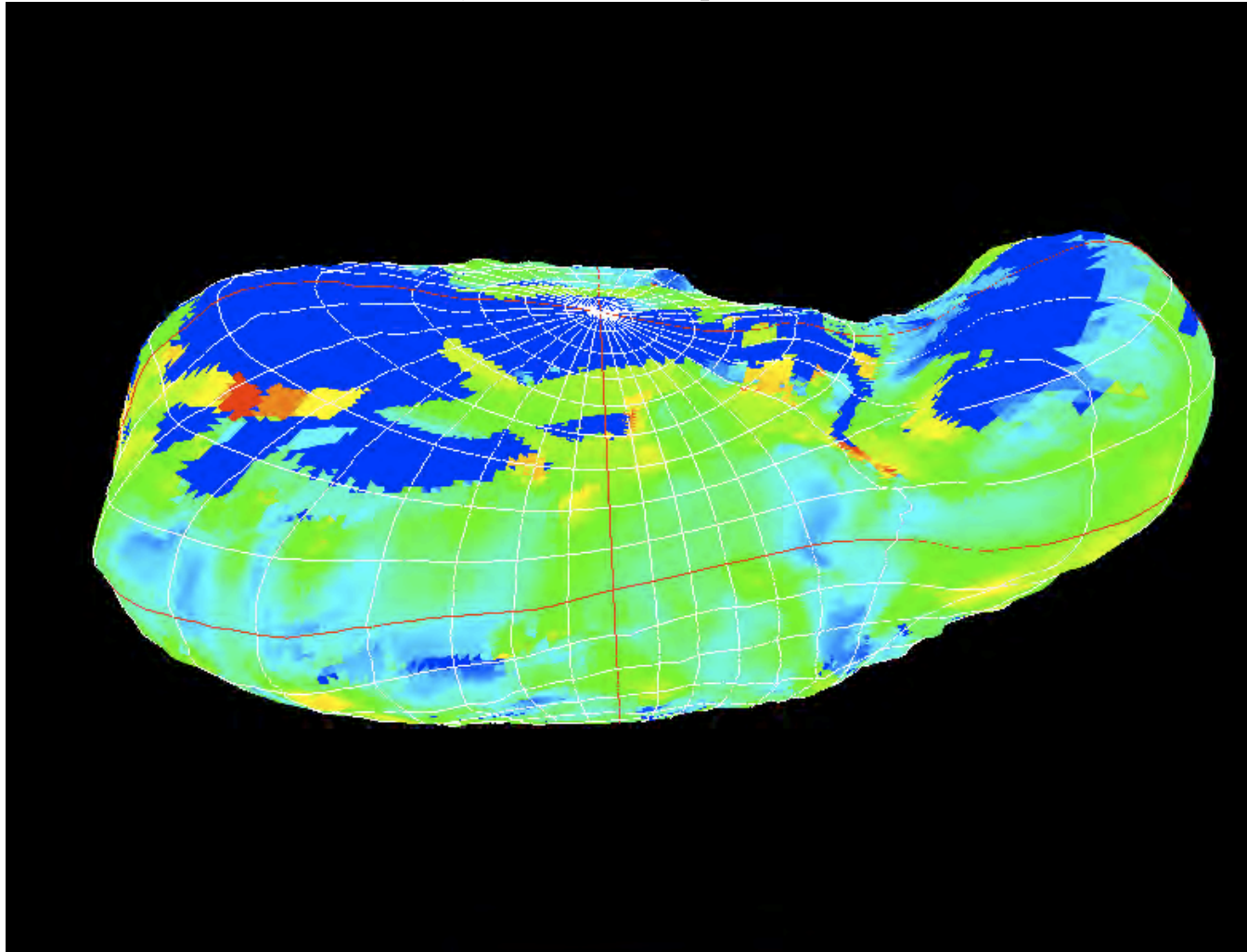
A slope map of Itokawa

- 全てのデータをレイヤー化した、地理座標管理の可視化システム。
- 人工物のない世界では、同位置でのデータ同士の相関から、対象を理解する材料を得る。解析の基礎。
- 月や惑星といった大型天体では投影法を揃えて、近似された平面同士の話ができる。
- しかし、不規則形状天体だと、投影方法が選びにくい。投影面だけはディスプレイという制約はあるが。
- ポリゴンモデルにデータの皮を被せ、それを切り替えることでGISにしよう！三次元GISと呼称している。

# 斜度マップ

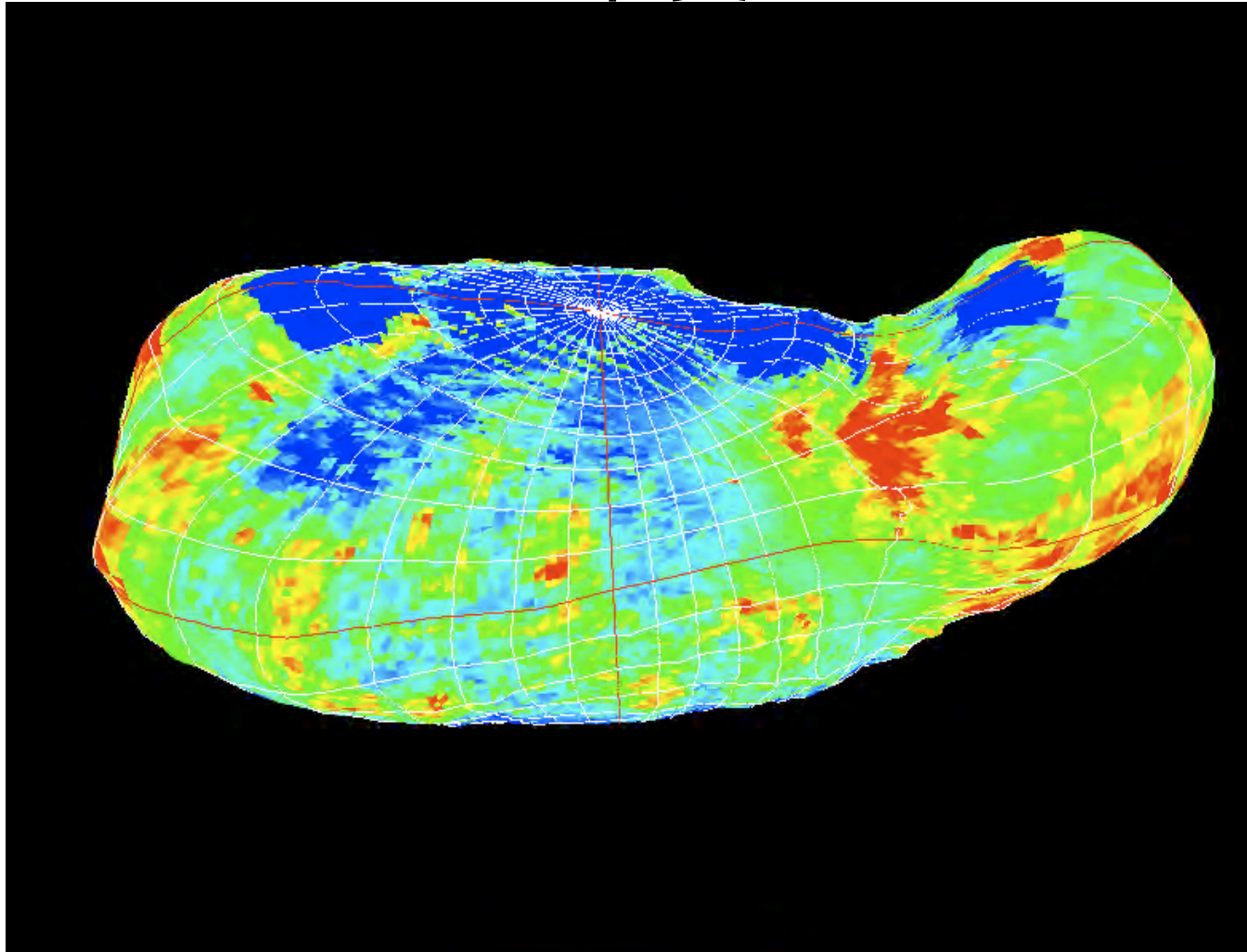


# NIRS反射率マップ

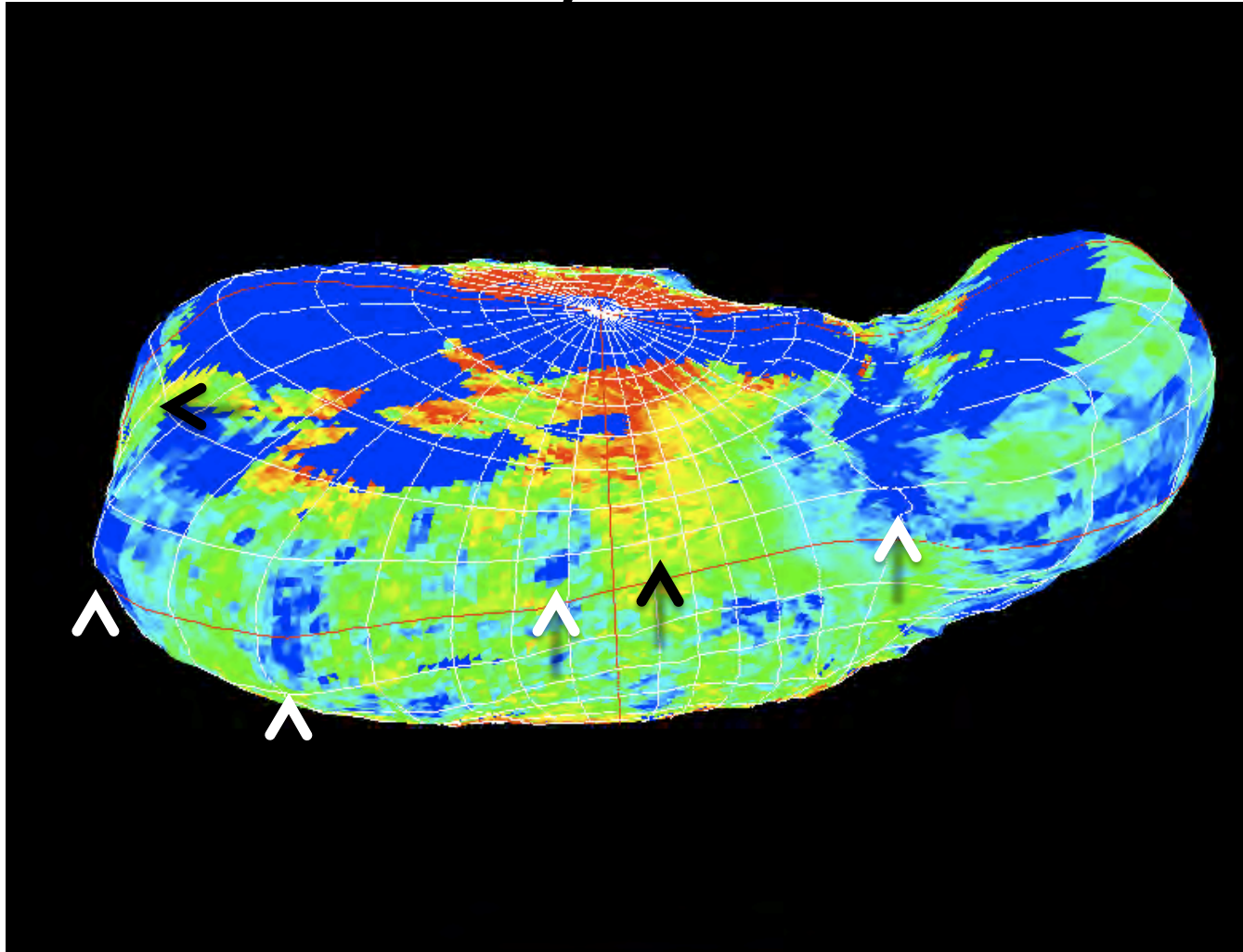


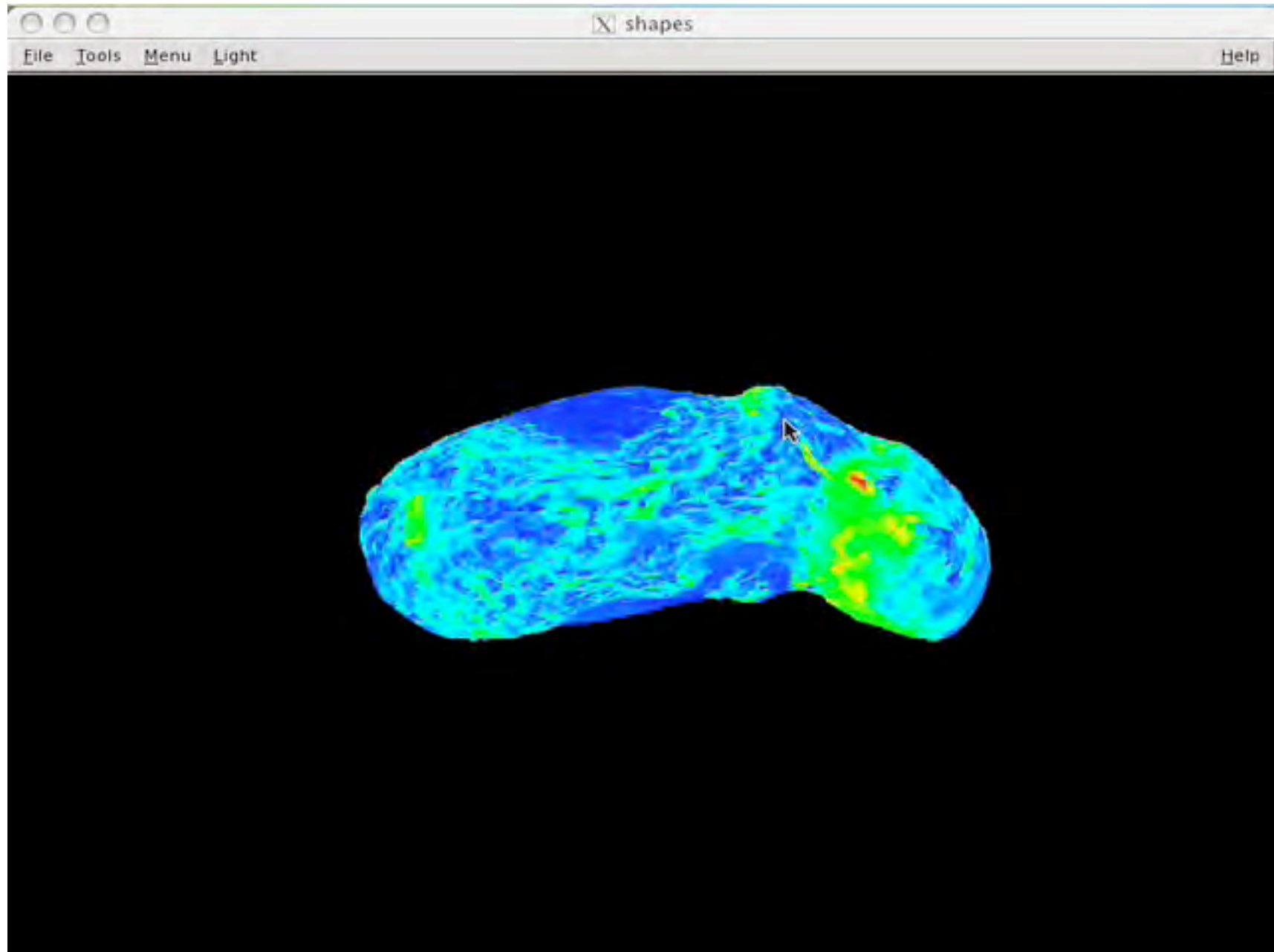


# AMICA輝度マップ



# NIRS/AMICA





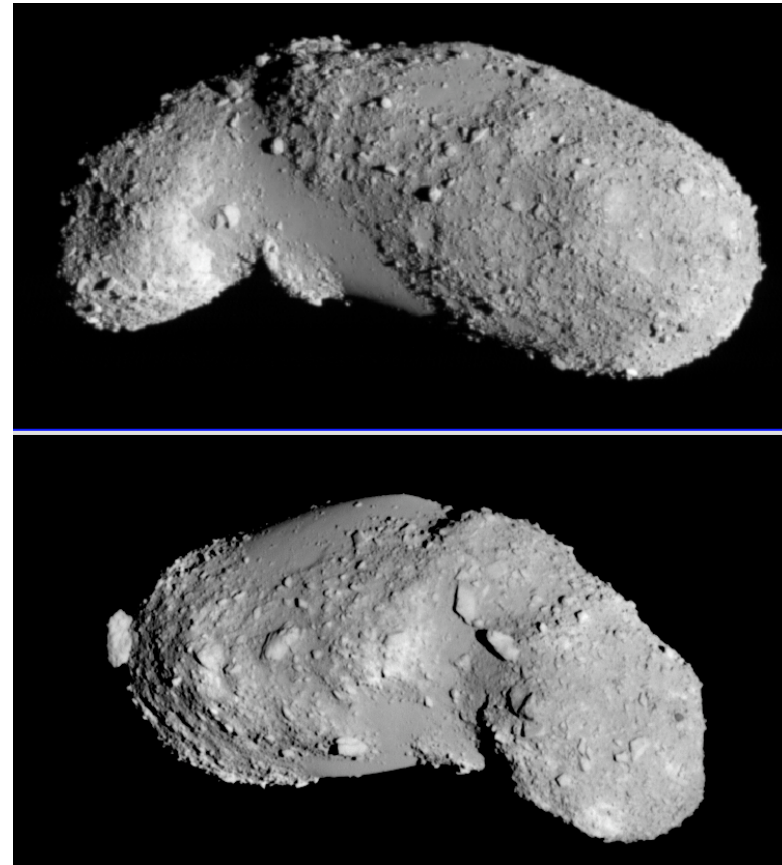
# 小惑星イトカワの内部構造： 地形観測及び空隙率推定からの考察

平田成, 出村裕英(会津大), 中村良介(産総研),  
阿部新助, 中村昭子(神戸大), 道上達広(福島工  
業高専), 野口高明(茨城大), 佐々木晶(天文台)



# Current data on Itokawa

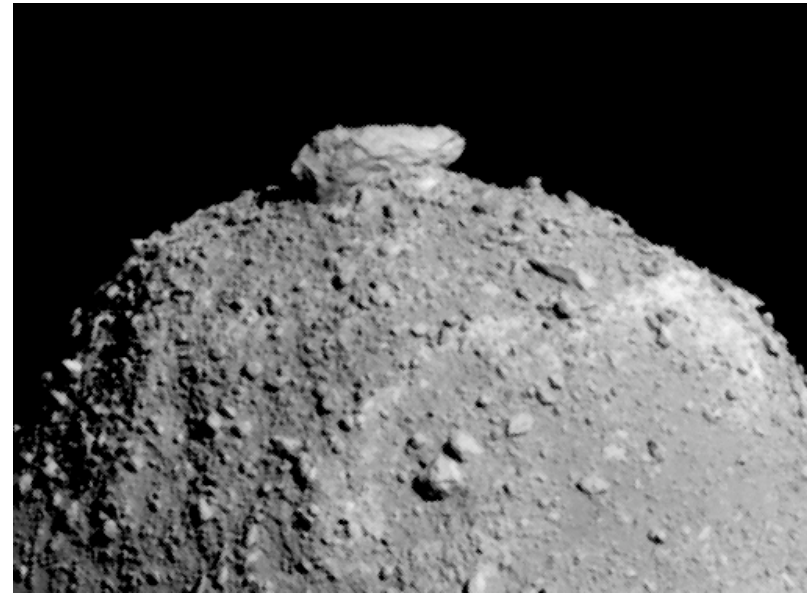
- Measured properties
  - Bulk density:  $2.02 \pm 0.16 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 
    - Mass:  $3.58 \pm 0.18 \times 10^{10} \text{ kg}$  (Abe et al., 2006)
    - Volume:  $1.77 \pm 0.02 \times 10^7 \text{ m}^3$  (Gaskell et al., 2006)
  - Assumed to be an LL chondritic material
    - Grain density:  $3.56 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  (Britt et al., 2002)
    - Bulk density:  $3.19 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$
    - Micro porosity: 10.4%
- Estimated porosity
  - Total porosity:  $43 \pm 3 \%$
  - Macro porosity:  $33 \pm 3 \%$



# Itokawa

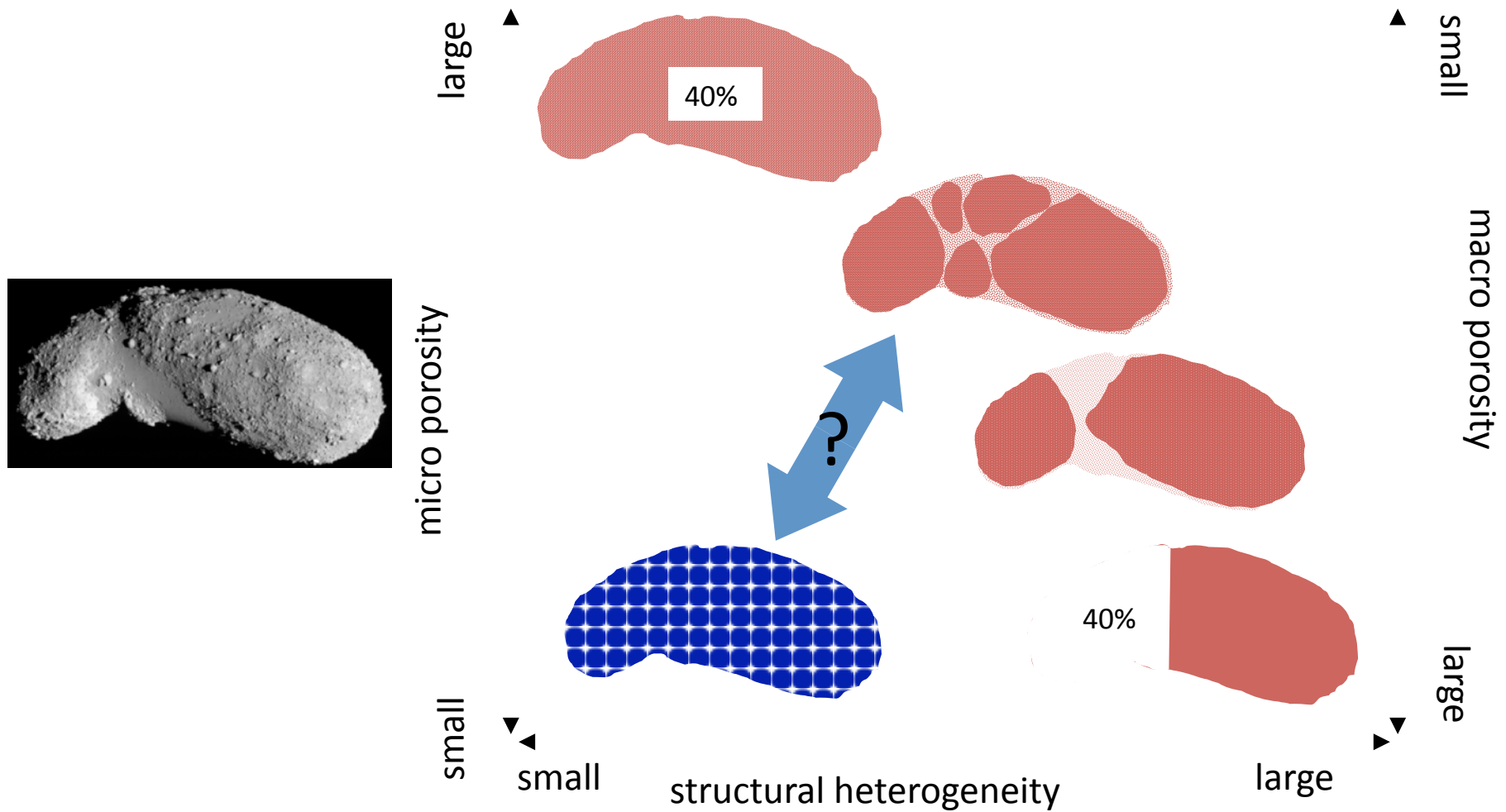
## as a rubble-pile asteroid

1. 大きな空隙率
  - Gaspra and Eros: ~30%
  - Mathilde: ~50%
2. 多数の巨大boulder
  - Saito et al. (2006) Nakamura et al. (2007)
  - ローカルな衝突では生成不可能
3. 頭部-胴部構造
  - Fujiwara et al. (2006)
4. 全球にわたる構造体がない
  - Cheng et al. (2007)
  - Eros: Rahe Dorsum

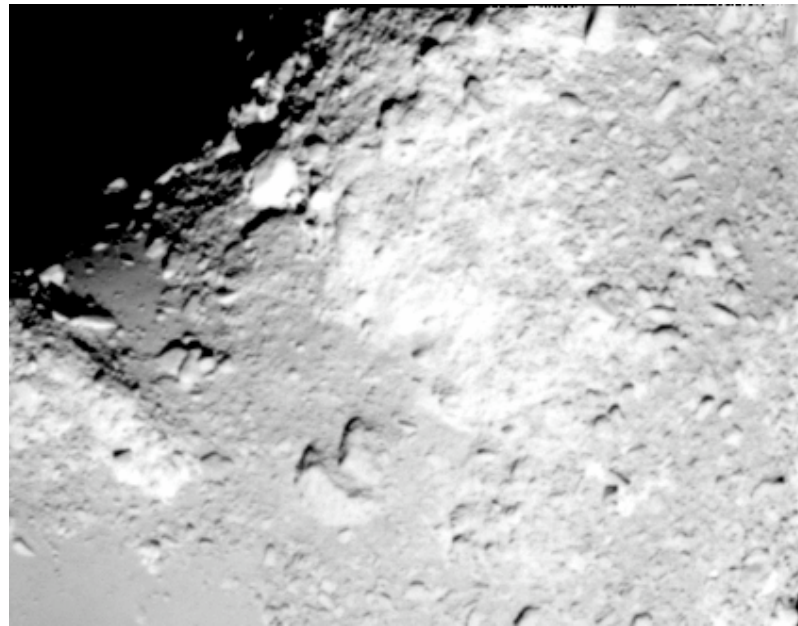


Yoshinodai boulder  
50 x 30 x 20 m

# Possible Internal Structures of Itokawa



# Outcrop of large block

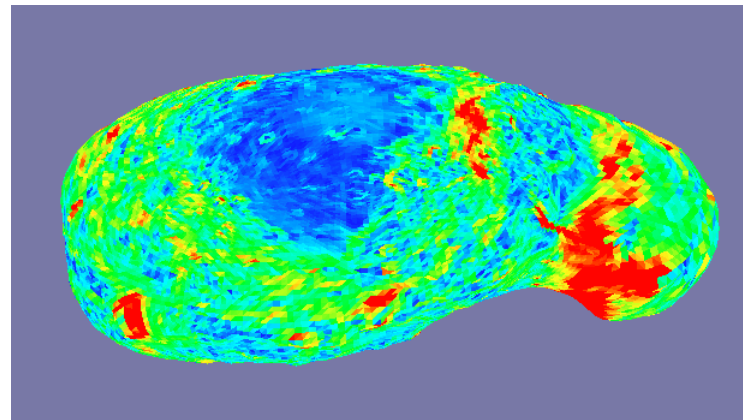
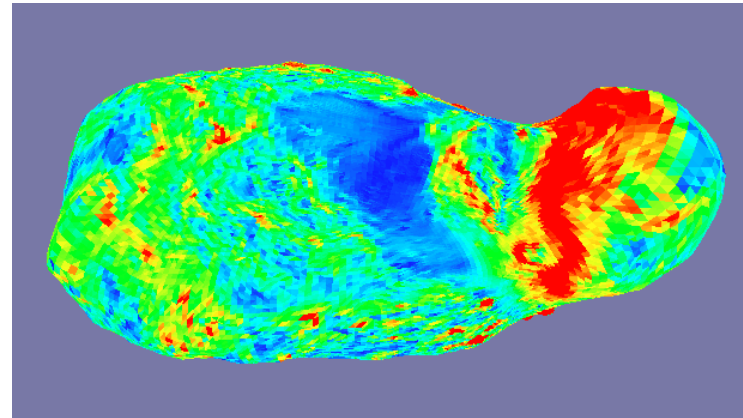


Shirakami (> 100 m)  
on the "face" region



# Slope distribution

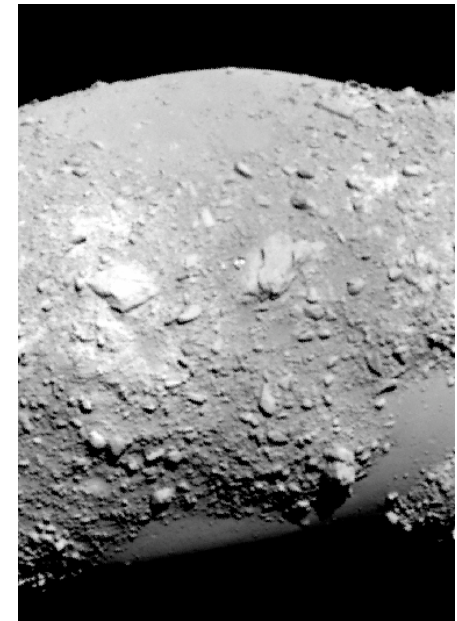
- 頭部のうち顔面, および顎部で斜度が $30^\circ$ を超えている (max  $\sim 60^\circ$ )
  - 頭部は一体のブロックである可能性が高い
- 胴部では最大斜度は高々 $30^\circ$



Red: slope  $> 30^\circ$

# Block size at the body part

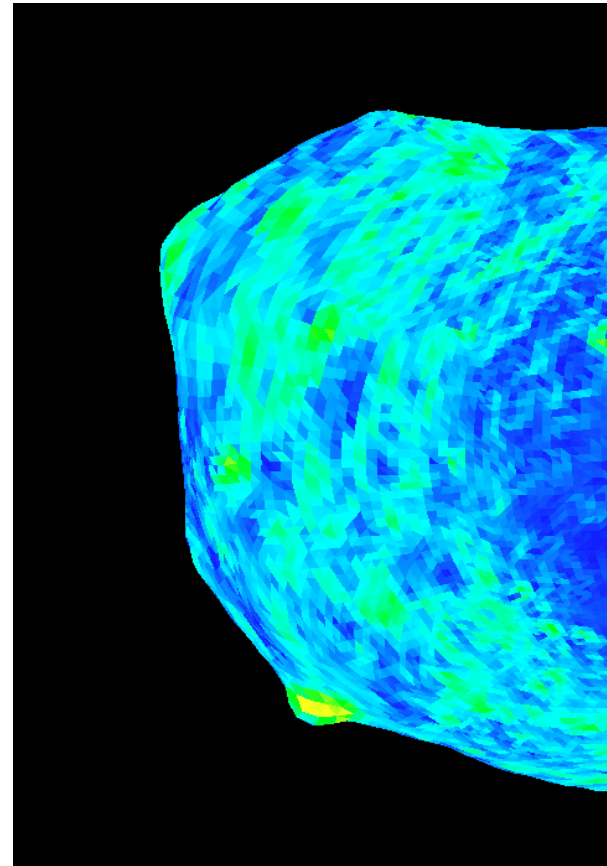
- exposure of 50 m size blocks
- Thin boulder layer on the surface
  - large block(s) under the boulder layer
- buried ~ 100 m size block?



Hoyoshi, Kakuda (~ 50 m)

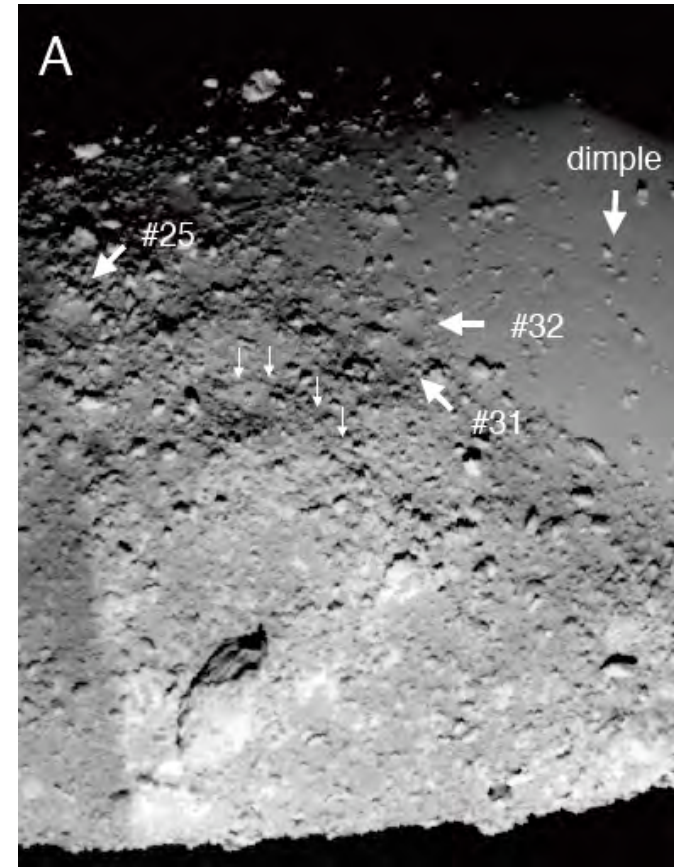
# Other clues

- ファセットと峰の構造
  - Demura et al. (2006)
- 割れ目
  - Cheng et al. (2007), Hirata et al. (2007)
  - 50-100 mスケールのブロックの存在
- 頭部と胴部でのクレーター候補地形の類似性
  - Hirata et al. (2007)
  - 内部構造も類似している可能性



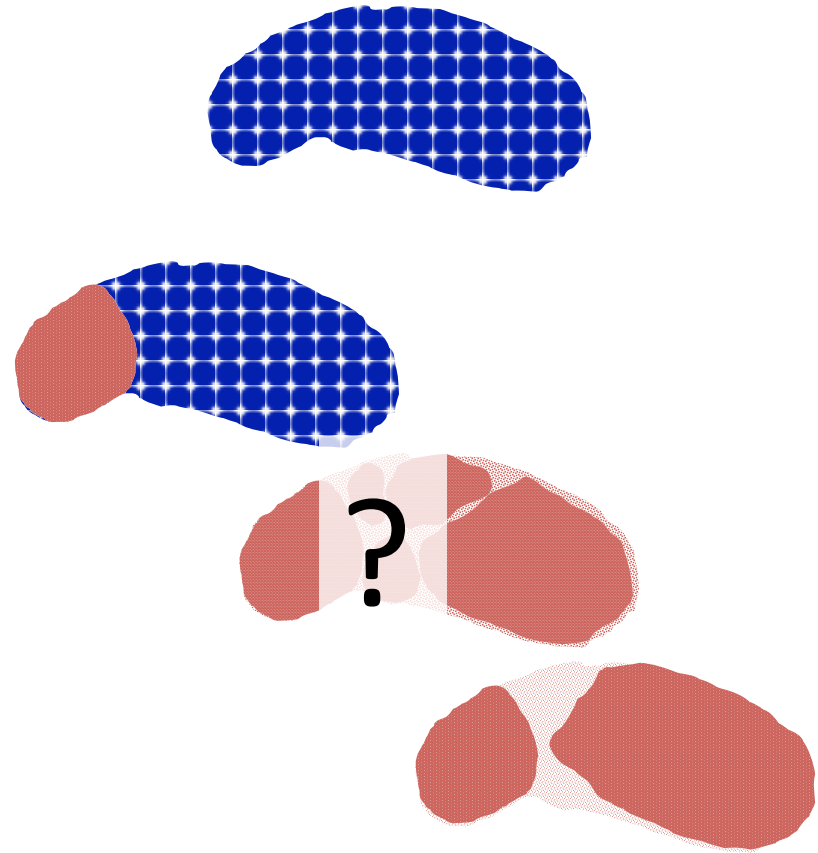
# Other clues

- ファセットと峰の構造
  - Demura et al. (2006)
- 割れ目
  - Cheng et al. (2007), Hirata et al. (2007)
  - 50-100 mスケールのブロックの存在
- 頭部と胴部でのクレーター候補地形の類似性
  - Hirata et al. (2007)
  - 内部構造も類似している可能性



# Conclusion

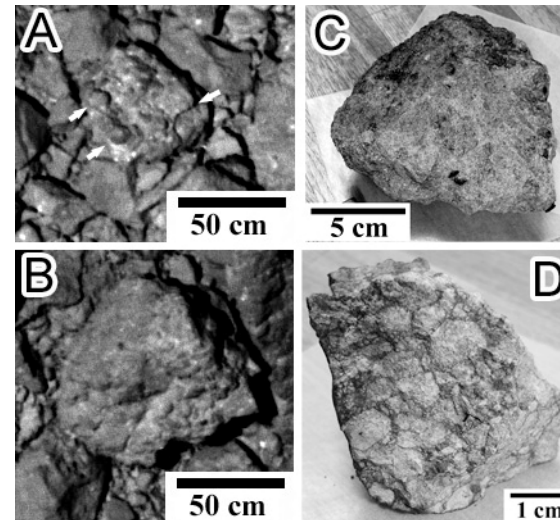
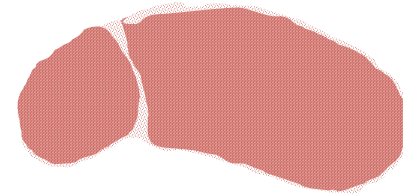
- 頭部は一枚岩
- 胴部は決め手に欠ける
  - ~100 mクラスのブロックの存在の可能性
  - ブロック間の継ぎ目が見えないことは問題
- 自転軸の情報は均質な内部構造を示唆
  - Gaskell et al. (2006)
  - どの程度の不均質性が許されるか？





# Conclusion

- 頭部-胴部二ブロック構造の可能性
  - ひとまず観測と矛盾はしない
  - small macro porosity
  - large micro porosity
- meteorites with large micro porosity
  - breccia like morphology of boulders (Noguchi et al., 2007)
  - tensile strength of sintered glass beads with 40% porosity: 0.5-5 MPa (Mitikami et al., 2007)
  - tensile strength of Holbrook (L6): 6 MPa (Wasson, 1974)
  - (micro) porosity of Allegan (H6): 27% (Wilkison et al., 2003)
  - density estimation of a meteoroid from the main belt:  $\sim 2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$  (Borovicka et al., 1998)



Noguchi et al., 2007