

(©池下章裕, JAXA)

はやぶさ2計画とRISE

Hayabusa-2 and RISE project office

RISE月惑星探査検討室

野田寛大

Hiroto NODA, RISE/NAOJ

内容

- RISEについて
 - 体制変更(2014.4 ~)
 - JUICE計画(ESA)に参加
- はやぶさ2概要
- レーザ高度計LIDAR

RISEについて(1/2)

- 「国立天文台の惑星探査の唯一のチャンネル」
- 月周回衛星「かぐや」(2007～2009):レーザ高度計@主衛星・電波源@子衛星の開発、運用、科学成果の創出(月の測地学)
- SELENE-2:搭載機器候補の検討(2008頃～)
- はやぶさ2計画(JAXA)へ参入(2011秋頃～)
- JUICE計画(ESA)へ参入(2012年～)

RISEについて(2/2)

- プロジェクト名変更(2012~ by 佐々木前室長)
 - 研究対象を月に限らず太陽系天体に広げる
 - RISE月惑星探査検討室(Aプロ)
 - Research of Interior Structure and Evolution of solar system bodies
- 現室長着任(並木室長、2014.4~)
 - はやぶさ2(小惑星)&JUICE(氷衛星)を軸に研究を進め、SELENE-2関連機器開発は一旦凍結(2014年度一杯で)

JUICE

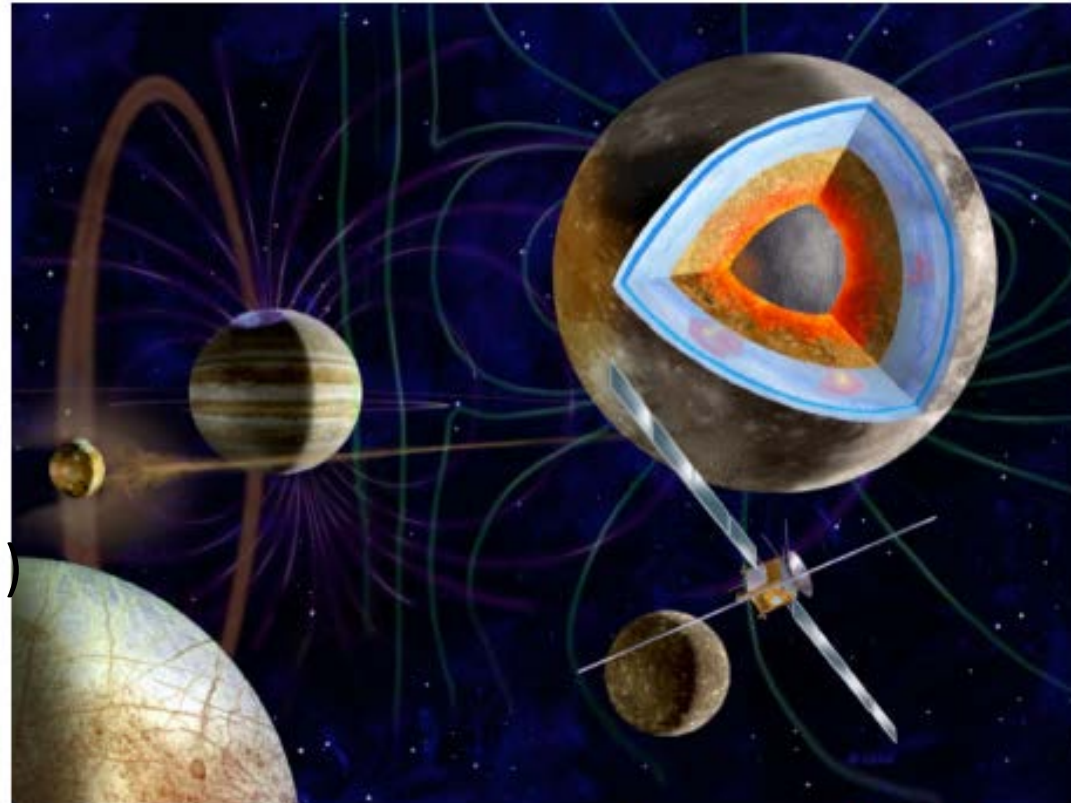
JUpiter ICy moons Explorer

ガリレオ衛星 「地下海」存否

JUICE

Exploring the emergence of habitable worlds around gas giants

- ESA L-class mission
- 機器を国際公募(AO)
- 2022打ち上げ
- 2030木星系到着
 - Europa, Callistoをflyby
- 2032ガニメデ周回
 - 高度500 km円軌道 (100日)
 - ~~高度200 km円軌道(30日)~~



JUICE 搭載の観測機器

	観測機器	内容	担当国	日本参加
1	JANUS	Camera system (カメラ)	イタリア	Science参加
2	MAJIS	Moon and Jupiter Imaging Spectrometer (可視・赤外分光)	フランス	なし
3	UVS	UV Imaging Spectrograph (紫外線分光器)	アメリカ	なし
4	SWI	Submillimeter wave Instrument (サブミリ波観測機器)	ドイツ	なし
5	GALA	GAnymede Laser Altimeter (レーザ高度計)	ドイツ	H/W提供
6	RIME	Radar for Icy Moons Exploration (氷衛星探査レーダー)	イタリア	なし
7	J-MAG	A magnetometer for JUICE (磁力計)	イギリス	Science参加
8	PEP	Particle Environment Package (粒子環境パッケージ)	スウェーデン	H/W提供
9	RPWI	Radio and Plasma Wave Investigation (プラズマ波動および電波観測機器)	スウェーデン	H/W提供
10	3GM	Gravity & Geophysics of Jupiter and Galilean Moons (木星およびガリレオ衛星の重力および地球物理学探査)	イタリア	なし
11	PRIDE	Planetary Radio Interferometer & Doppler Experiment (惑星電波干渉計およびドップラー実験)	オランダ	なし

日本の参加:



H/W提供



Science参加

はやぶさ2

- より始原的と考えられるC型（炭素質）小惑星に行きサンプルを取ってくる（はやぶさはS型）
- 有機物、水質変性度（←サンプル、リモセン）
- 小惑星の衝突進化（←空隙率測定←体積と質量推定）
- RISEはレーザ高度計（LIDAR）の開発に参加

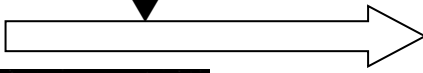
はやぶさ2現状

- 今年冬期の打ち上げ準備が進行中
- 相模原での総合試験終了(～9月)
- フライトオペ@種子島(9月～)
 - LIDAR電気試験、最終外観検査

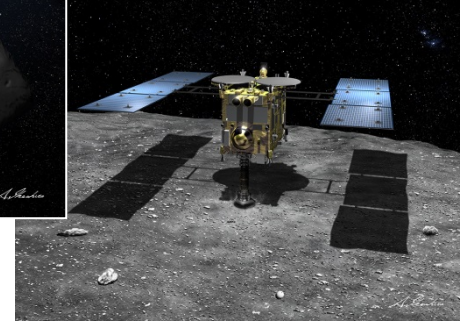
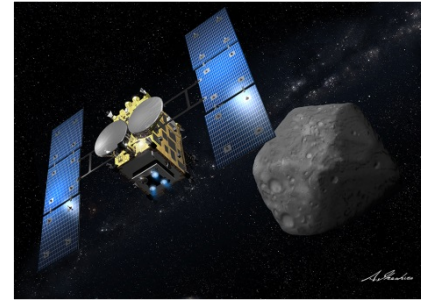
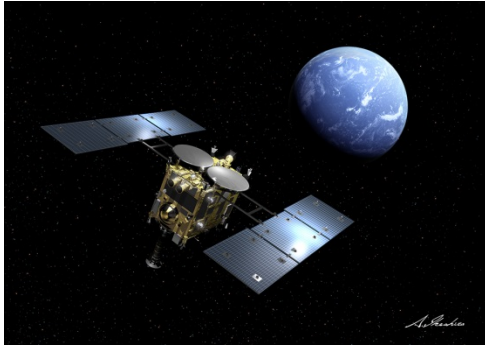
ミッションの流れ

2014年冬
打ち上げ

地球スイングバイ
2015年11-12月



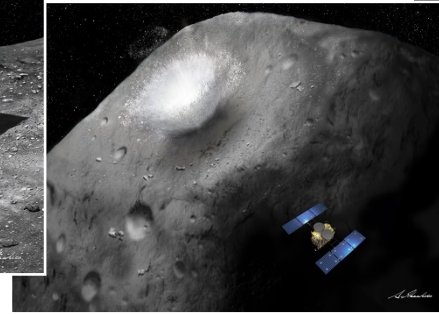
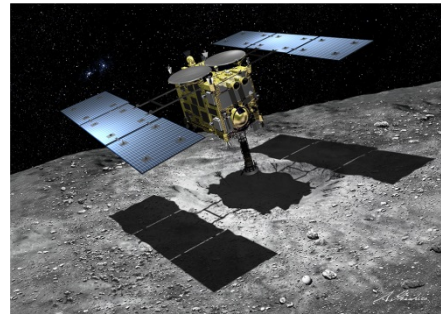
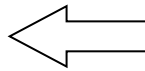
2018年6-7月
小惑星到着



リモートセンシング観測によって、
小惑星を調べる。その後、小型ロー
バや小型着陸機を切り離す。さらに
表面からサンプルを取得する。

地球帰還
2020年11-12月

小惑星出発
2019年11-12月



サンプル分析

(イラスト 池下章裕氏)

安全を確認後、クレー
ターにタッチダウンを行
い、地下物質を採取する。

衝突装置によって、小
惑星表面に人工的なク
レーターを作る。

ミッション機器概要

機器名	役割
光学航法カメラ (ONC)	可視光の波長帯を中心に望遠と広角のカメラがある。望遠とのカメラの視野角はそれぞれ約5度と50度である。科学観測ビゲーションに使われる。
赤外線分光計 (NIRS3)	3ミクロン帯を含む近赤外線の分光観測を行う。 視野角は約0.1度。
中間赤外カメラ (TIR)	10ミクロン帯を含む中間赤外線以小惑星を撮像する。 視野角は10数度。
レーザ高度計 (LIDAR)	探査機と小惑星表面との間の距離を計測する。小惑星の地形重力、アルベドなど科学データも取得する。 計測範囲は数10m～数10km。
サンプリング装置 (SMP)	小惑星表面からサンプルを採取する。 「はやぶさ」のサンプリング装置から微修正。
衝突装置 (SCI)	2kgの銅の塊を2km/sに加速して小惑星表面に衝突させるこ人工的なクレーターを作る。
分離カメラ(DCAM)	衝突装置が動作するときに撮影する。
小型ローバ (MINERVA II-1A, 1B, 2)	小惑星表面に降ろして表面を調べる。「はやぶさ」に搭載しMINERVAに似た小型ローバ3台を搭載。
小型着陸機 (MASCOT)	小惑星表面に降ろし、4つの観測装置で表面を調べる。DLR(ドイツ)とCNES(フランス)から提供。 観測装置：MicrOmega, MAG, CAM, MARA

探査対象小惑星の特徴

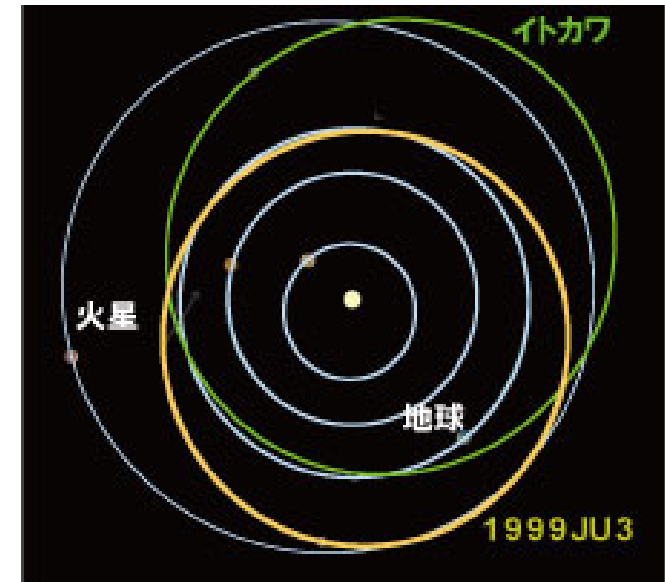
2014年4月の時点での情報

名称 : まだ名前は無い
確定番号 : 162173
仮符号 : 1999 JU3

1999年5月に発見された小惑星

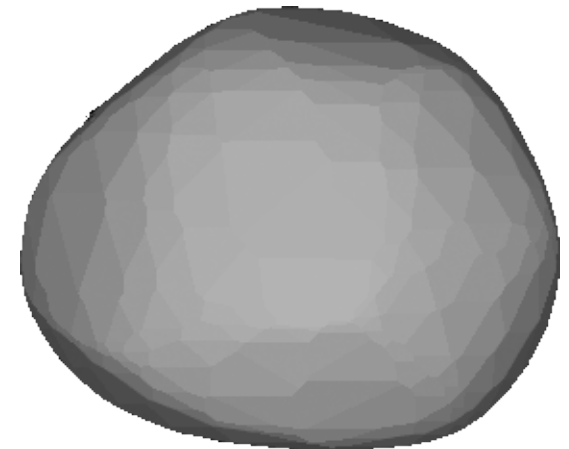
大きさ : 約900 m
形 : ほぼ球形
自転周期 : 約7時間38分
自転軸の向き : 正確な推定が困難
反射率 : 0.05 (反射率が1に比べて小さい=黒っぽい)
タイプ : C型(水・有機物を含む物質があると推定される)
軌道半径 : 約1億8千万km
公転周期 : 約1.3年

小惑星1999 JU3の軌道



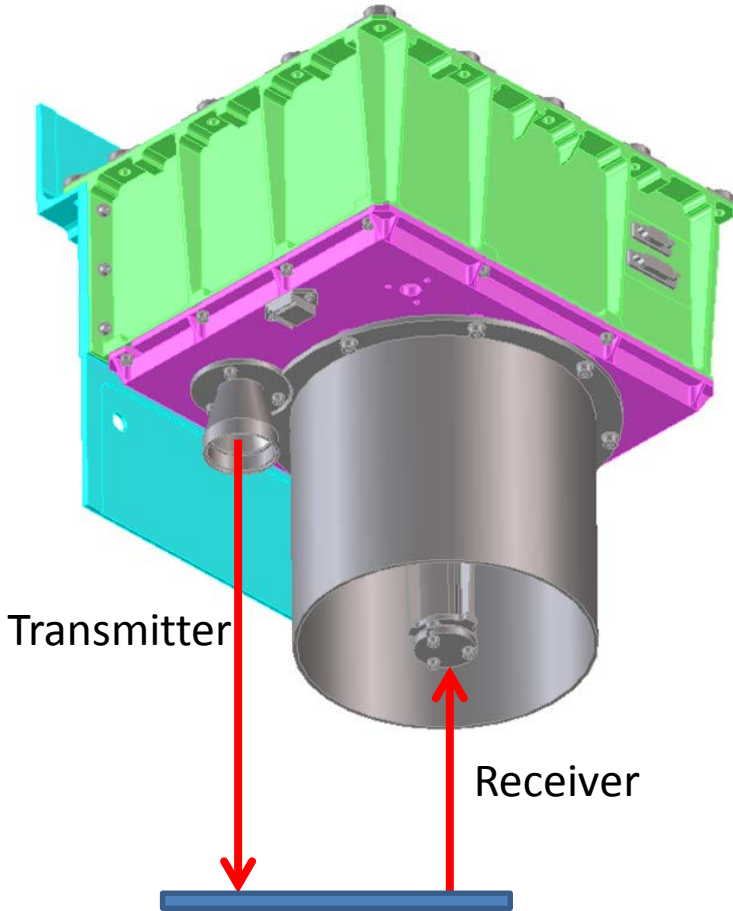
(© JAXA)

推定された形状

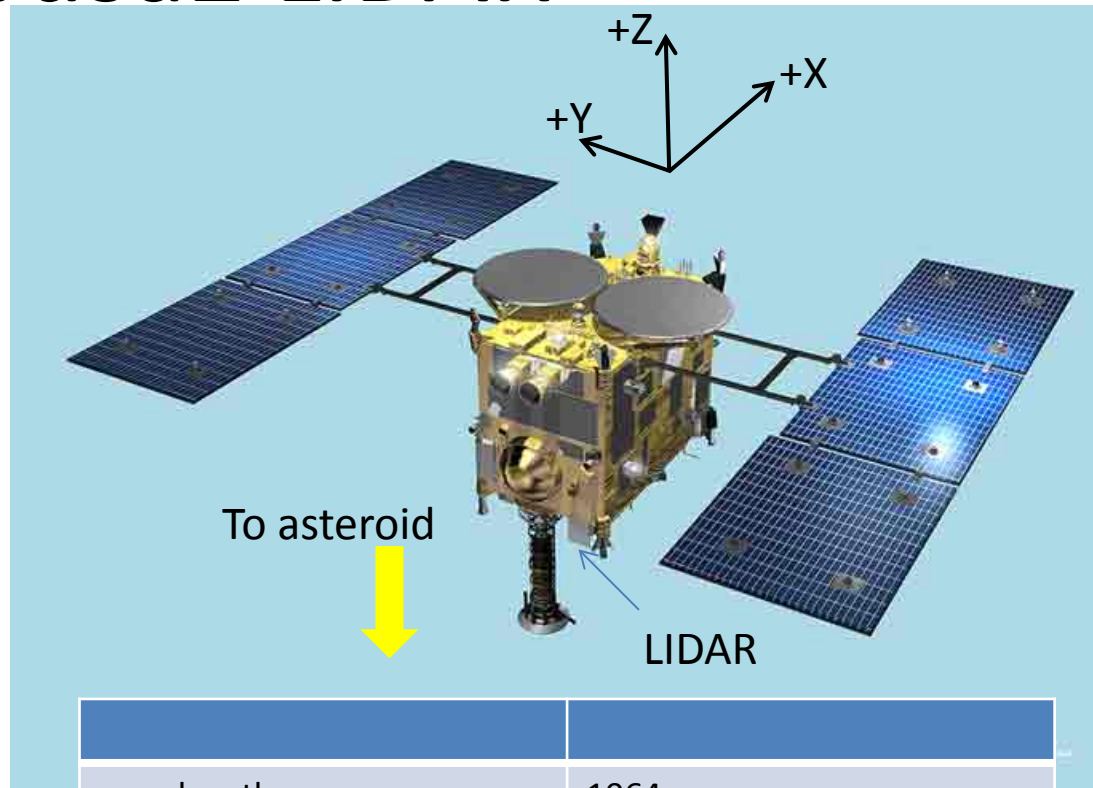


Hayabusa2 LIDAR

CAD drawing of LIDAR

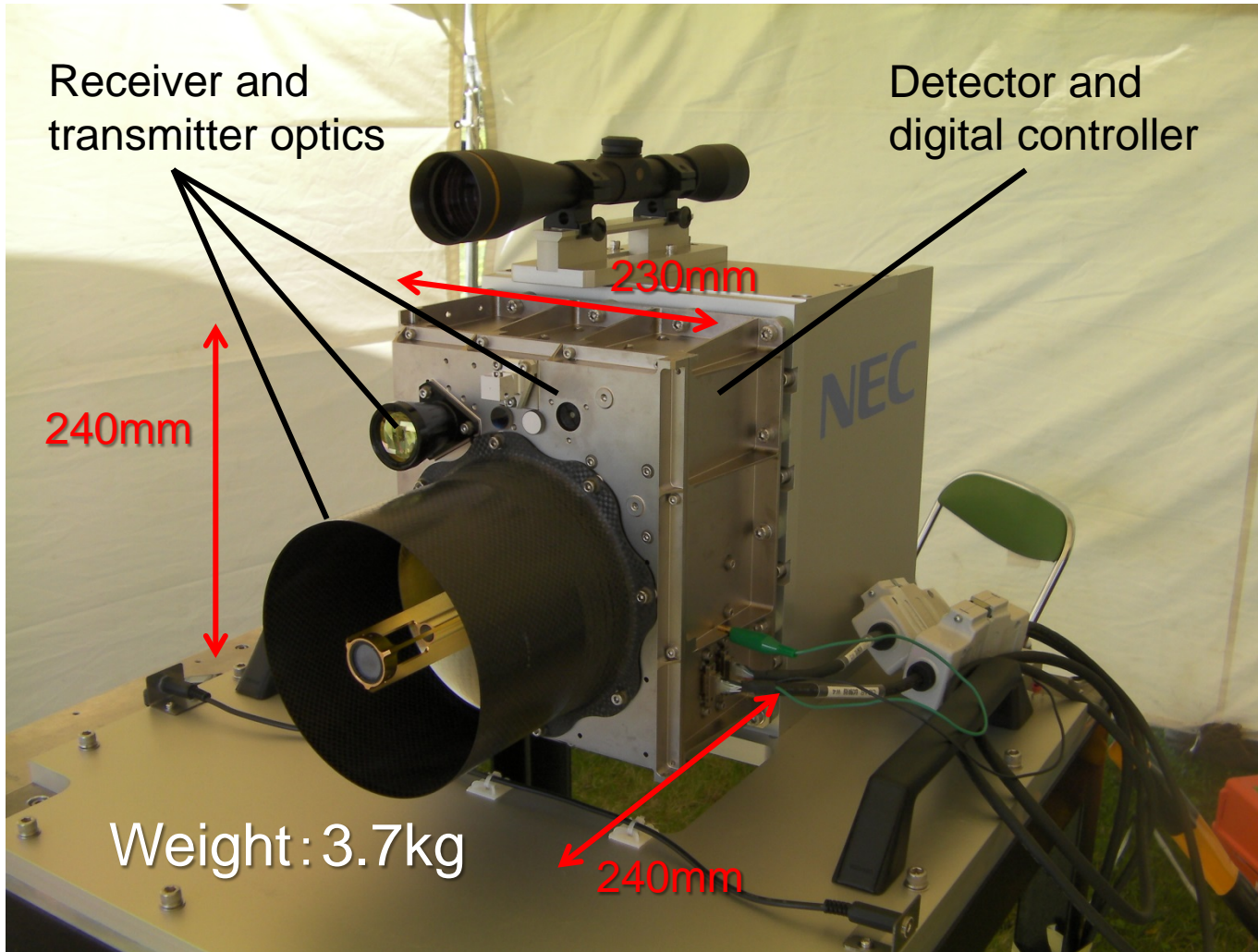


Specification of LIDAR



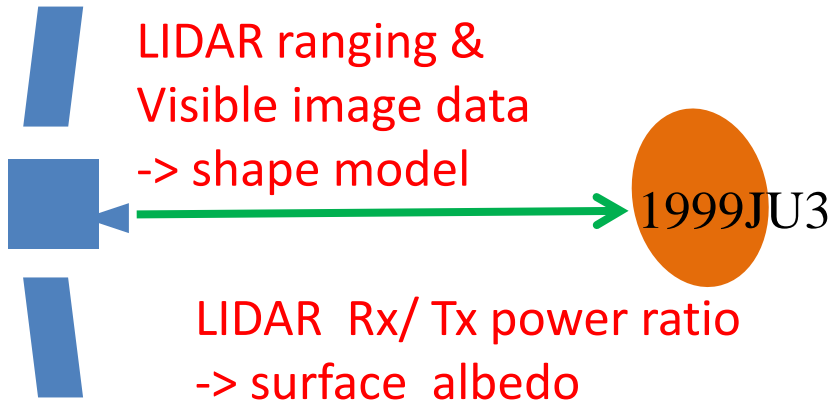
wavelength	1064 nm
Laser power	10 mJ
Repetition rate	1 Hz
Pulse width	<10 nsec
Transmitter FOV	± 2.5 mrad
Receiver FOV (far)	1.5 mrad
Range resolution	0.5 m

Field Test Model of LIDAR

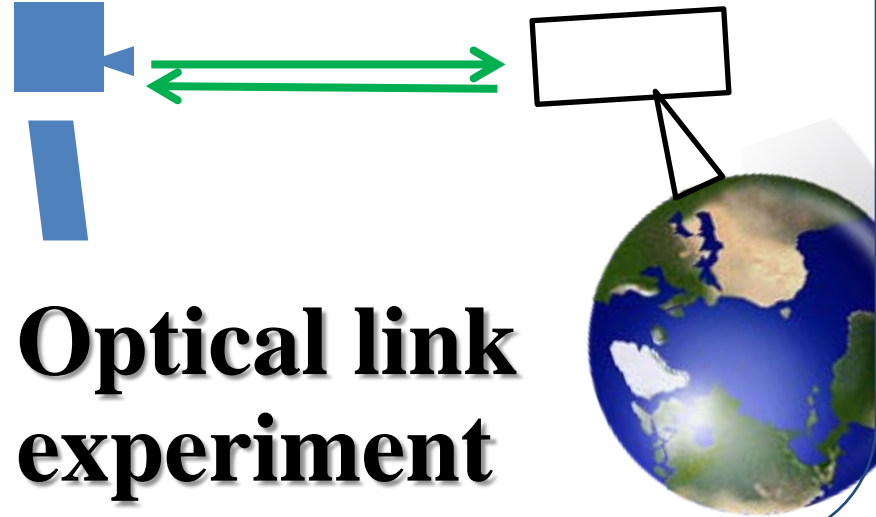


Hayabusa-2 LIDAR has 3 optics; transmitter, long-range receiver telescope (*FAR*), and short-range receiver (*NEAR*).

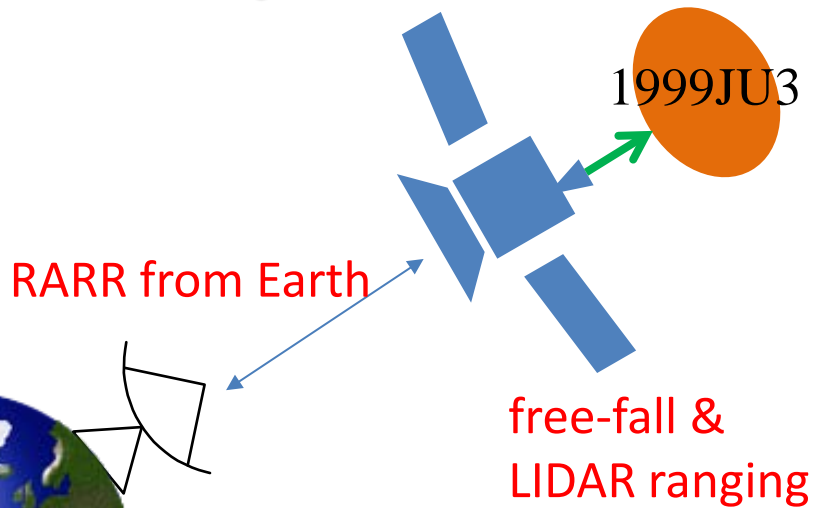
Shape modeling & albedo



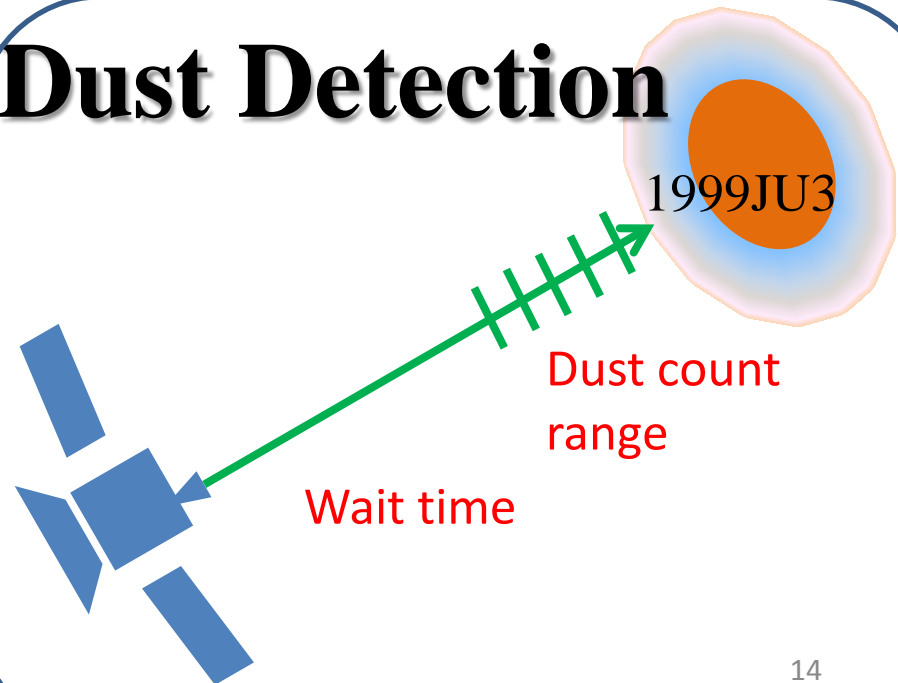
Optical link experiment



Gravity measurement



Dust Detection



形状モデル: 目的

形状モデルチームに測距データを提供する

- (1) 探査機の安全な航法(特にタッチダウン時)のために距離データを供する
- (2) 1999 JU₃の体積を正確に測定し, 密度を推定する
- (3) 自転軸の推定
- (4) 表層物質移動を考察するための基礎データ

月や惑星のような大天体とは手法の相違

- Camera image: shape
- LIDAR range: scale

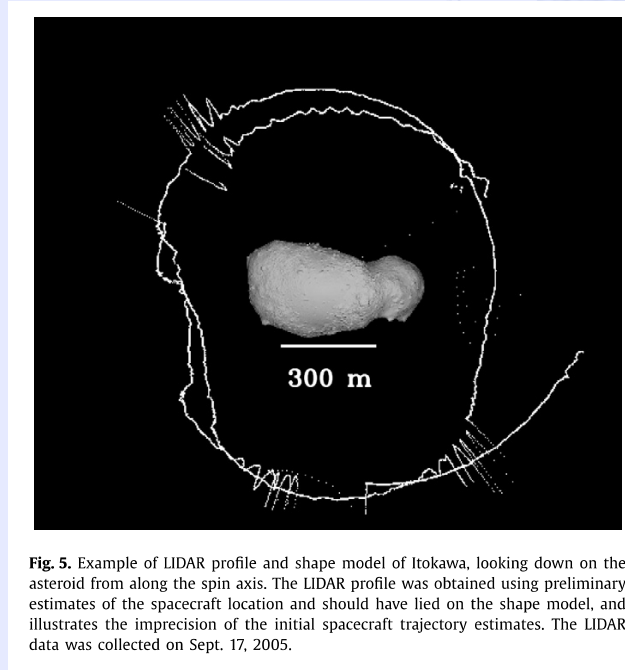
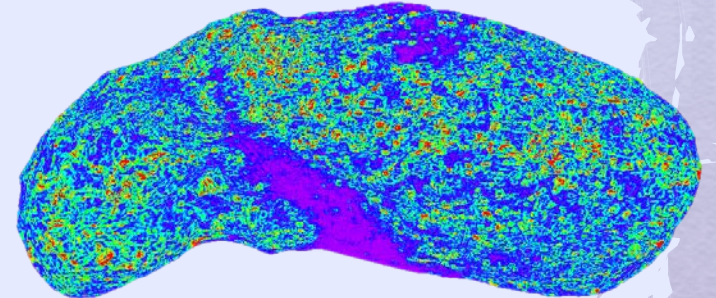


Fig. 5. Example of LIDAR profile and shape model of Itokawa, looking down on the asteroid from along the spin axis. The LIDAR profile was obtained using preliminary estimates of the spacecraft location and should have lied on the shape model, and illustrates the imprecision of the initial spacecraft trajectory estimates. The LIDAR data was collected on Sept. 17, 2005.

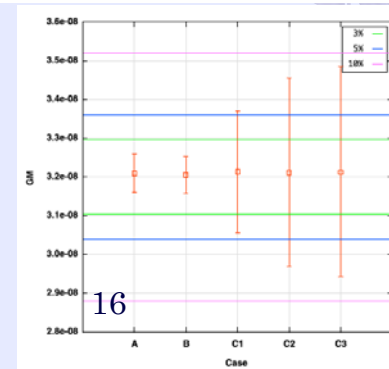
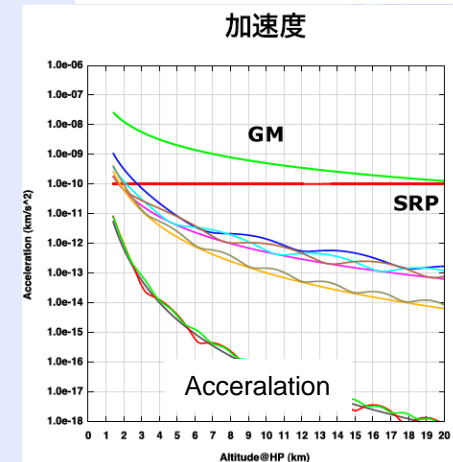
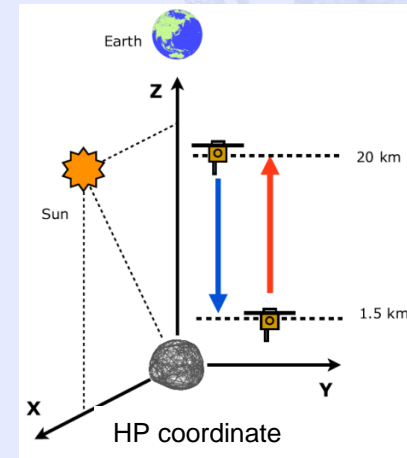
Barnouin-Jha et al., 2008

イトカワの傾斜モデル



重力測定

- 第一の目的 = GM の測定
 - 第二の目的 = 内部の密度変化の推定
- 大小2つの球からなるモデルを使って観測条件を予想
- 重力中心と形状中心のズレを10 mの精度で観測したい
 - 最新の形状推定とは整合していない
- 数値シミュレーションで必要なパス数を検討
 - 2パス: 41 m
 - 4パス: 11 m
 - 6パス: 3 m
 - 観測は降下, 上昇, いずれの方向でも構わないので, 接近運用の帰路に出来るだけ多くの自由投げ上げ観測を行いたい
 - ドップラー観測データが必須になる



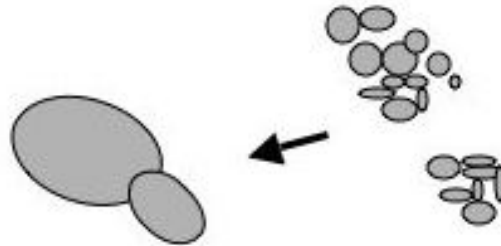
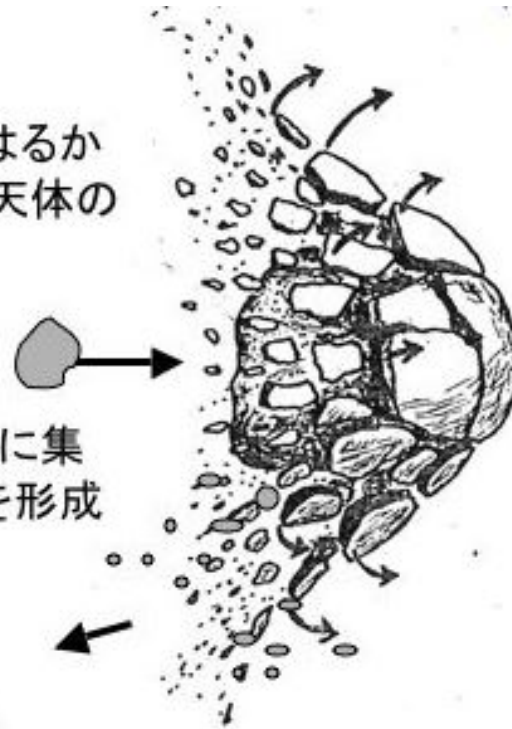
「イトカワ」の場合

小惑星の密度(同じか
さで比べたおもさ)から、
「イトカワ」は”がれき”
がくっ付いてできたこと
が分かった

(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



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



小惑星のアルベド観測

小惑星表面は宇宙風化作用や組成の異なる物質の衝突等によりアルベドが変化する。

➡ LIDARのアルベド観測から変化を検出

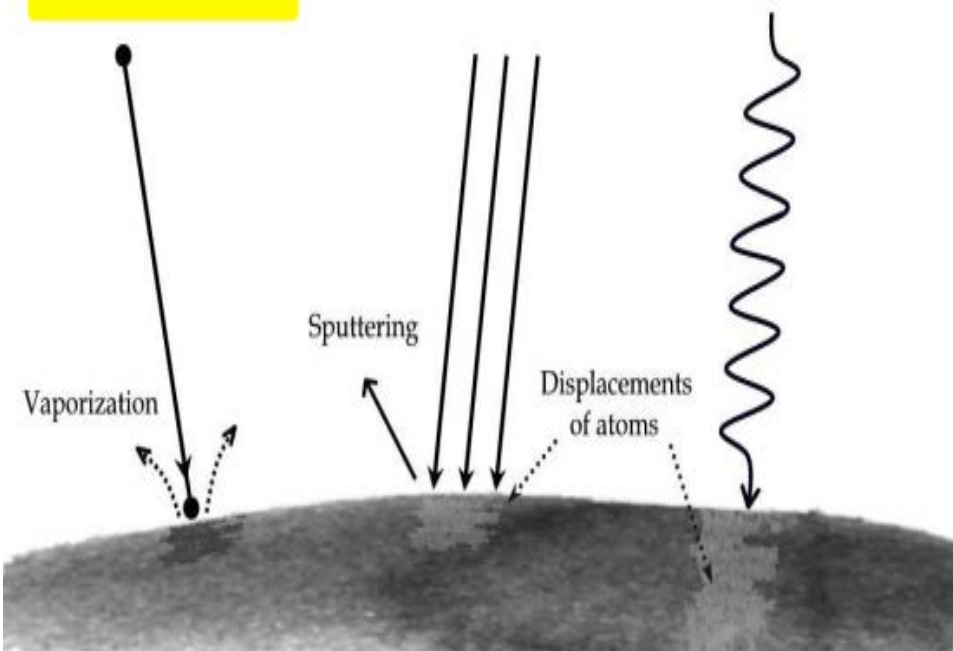


小惑星ベスタのダークレイ

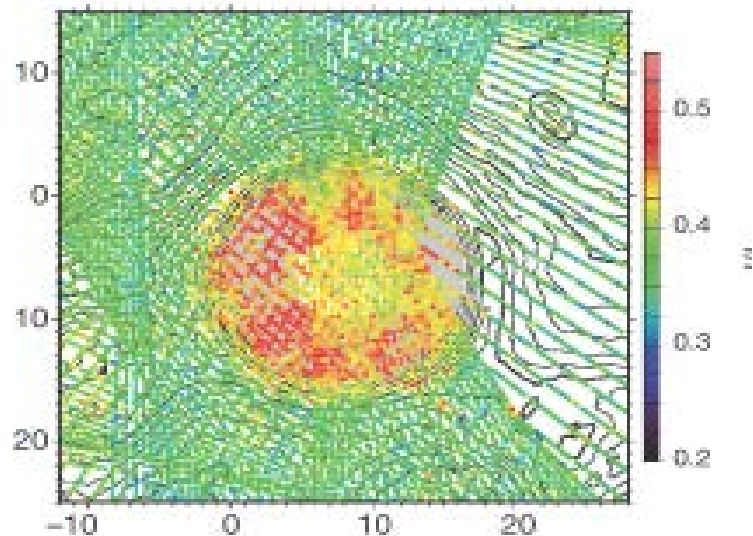
微小隕石衝突

太陽風照射

宇宙線照射

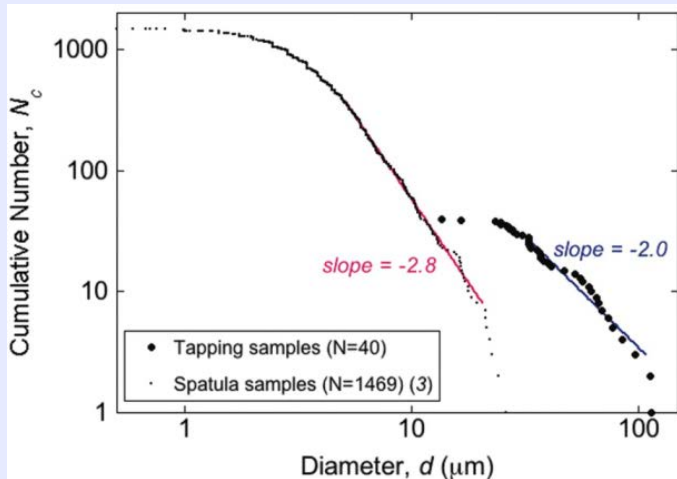
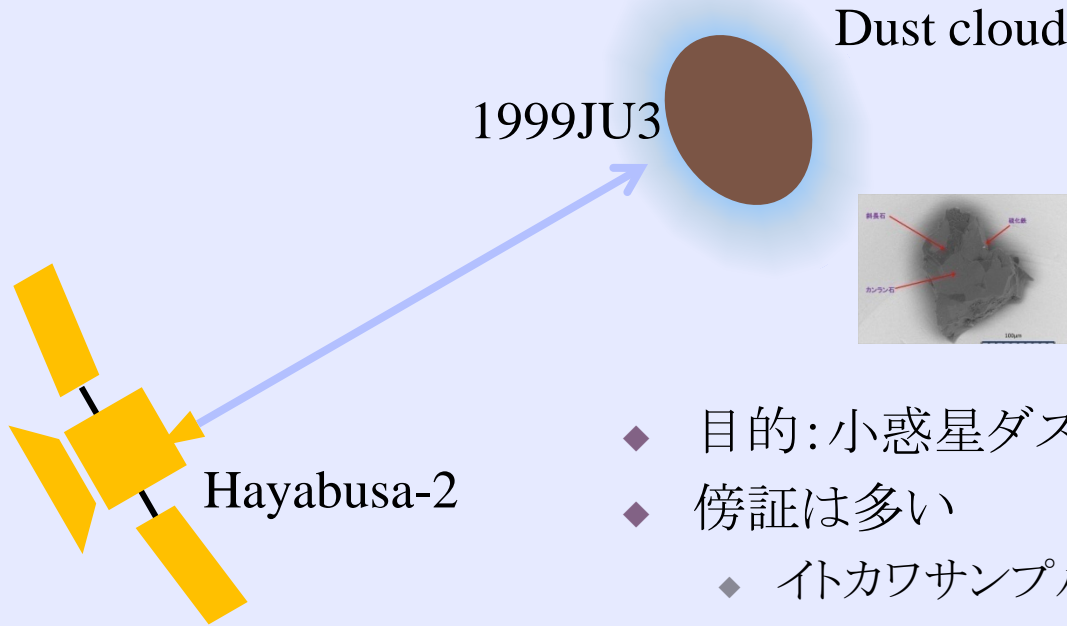


宇宙風化作用の要因 [Matsuoka,2014]



シャクルトンクレータのアルベド変化 (LIDARによる観測)(Zuber et al., 2012)

ダスト観測の目的



Tschiyama *et al.*, 2011.

- ◆ 目的:小惑星ダストをその場観察で実証する
- ◆ 傍証は多い
 - ◆ イトカワサンプルの起源
 - ◆ 初号機に於けるLRFの不可解な挙動
 - ◆ Erosのダストポンド(~ 50 μm)
 - ◆ 月のhorizontal glow
 - ◆ 数値計算ではどんどん逃げていく
- ◆ 小惑星表層進化/水平・鉛直物質移動
 - ◆ 地形侵食
 - ◆ 隕石の宇宙線照射年代, 太陽風打ち込み
 - ◆ IDP起源(イトカワサンプルの短い滞留時間)

光リンク通信実験



- ◆ 初期運用(打上げ1年後)として光リンク通信実験を予定
- ◆ SLR(衛星レーザ測距)地上局からレーザを照射し、LIDARが受光後にレーザを送光する(光トランスポンダ機能)
- ◆ パフォーマンス確認(測距、回線計算、アラインメント)、軌道推定、衛星と地上の時刻同期
- ◆ SLR地上局@NICT小金井(口径1.5 m, 1 μ m, 1.2J, 10 Hz)
- ◆ 実施機会は探査機に入射できる太陽方向の制限による

まとめ

- はやぶさ2はC型(炭素質)小惑星を探査する
 - RISEはレーザ高度計(LIDAR)を担当
 - LIDARで行う事
 - 地形
 - 重力
 - アルベド
 - ダスト
 - 光リンク
- 空隙率 (porosity) 推定、衝突進化
- 表層進化
- アライメント測定、工学実験
- JUICE計画GALA (ESA, 2022打ち上げ) へ