



# 2018年の小惑星リュウグウ到着にむけて 小惑星探査機「はやぶさ2」の近況

## 2017年12月14日

JAXA はやぶさ2プロジェクト







「はやぶさ2」に関連して、

- ・前回の説明会(2017年7月)以降の状況
- ・サイエンス
- ・広報、アウトリーチ
- ・今後の予定

について紹介する。

なお、本日の主要テーマは<u>サイエンスに関連した事項</u>で ある。



目次



- 0. 現在の「はやぶさ2」・概要
- 1. プロジェクトの現状と全体スケジュール
- 2.2017年7月以降の運用
- 3. 小惑星到着に備えて
- 4. LSS訓練
- 5. サイエンス
- 6. 広報・アウトリーチ
- 7. 今後の予定









#### <u>目的</u>

「はやぶさ」が探査したS型小惑星イトカワよりも始原的なタイプであるC型小惑星の探査及びサンプルリターンを行い、原始太陽系における鉱物・水・有機物の相互作用の解明から、地球・海・生命の起源と進化に迫るとともに、「はやぶさ」で実証した深宇宙往復探査技術を維持・発展させて、本分野で世界を牽引する。

#### 期待される成果と効果

·水や有機物に富むC型小惑星の探査により、地球・海・生命の原材料間の相互作用と進化を解明し、太陽系科学を発展させる。 ·衝突装置の衝突地点付近からのサンプル採取という新たな挑戦も 行うことで、日本がこの分野において、さらに世界をリードする。 ·太陽系天体往復探査の安定した技術を確立する。

#### <u>特色:</u>

世界初のC型微小地球接近小惑星のサンプルリターンである。 小惑星にランデブーしながら衝突装置を衝突させて、その前後を観 測するという世界初の試みを行う。

「はやぶさ」の探査成果と合わせることで、太陽系内の物質分布や 起源と進化過程について、より深く知ることができる。

#### 国際的位置づけ:

日本が先頭に立った始原天体探査の分野で、C型小惑星という新 たな地点へ到達させる。

「はやぶさ」探査機によって得た独自性と優位性を発揮し、日本の 惑星科学及び太陽系探査技術の進展を図るとともに、始原天体探 査のフロンティアを拓く。

NASAにおいても、小惑星サンプルリターンミッションOSIRIS-REx( 打上げ:平成28年、小惑星到着:平成31年、地球帰還:平成35年) が計画されているが、サンプルの交換や科学者の協力について調 整が進んでおり、両者の成果を比較・検証することによる科学的成 果も期待されている。



<u>はやぶさ2 主要緒元</u>

(イラスト 池下章裕氏)

質量	約 600kg
打上げ	平成26年(2014年)12月3日
軌道	小惑星往復
小惑星到着	平成30年(2018年)
地球帰還	平成32年(2020年)
小惑星滞在其	月間 約18ヶ月
探查対象天体	*地球接近小惑星 Ryugu(リュウグウ)

#### 主要搭載機器

サンプリング機構、地球帰還カプセル、光学カメラ、レーザー測 距計、科学観測機器(近赤外、中間赤外)、衝突装置、小型ロ ーバ



ミッションの流れ概要







1. プロジェクトの現状と 全体スケジュール



現状:

- 打上げから3年が経過。順調に航行を継続中。リュウグウ到着予定は、当初の計画通りの2018年6-7月。
- 往路イオンエンジン動力航行の計画値約7000時間のうち約3900時間 を完了。
- 小惑星到着時の運用に向けて、運用訓練を実施中。







2.2017年7月以降の運用



- 軌道制御は行わず、弾道飛行
- 光学航法カメラ(ONC)のチェック
- MINERVA-IIやMASCOTのチェック(※)
- 探査機内の時計(TI)のゼロリセット(2017年9月5日)

※運用主体 MNRVII-1:JAXA、MNRVII-2:大学コンソーシアム・東北大、MASCOT:DLR/CNES

運用訓練

■LSS(Landing Site Selection)訓練 小惑星の表面上から、限られた時間・大人数で、技術的・科学的観点で、小惑 星への母船の着陸・ローバーの投下・クレーターの生成地点を決めることがで きるかの訓練 ■RIO(Real-time Integrated Operation)訓練 小惑星への着陸や近接降下などのクリティカルな運用について、探査機シミュ レータを使って、リアルタイムの運用練度を高める訓練



2. 2017年7月以降の運用:TIリセット



- 探査機の時計をリセット=TI(Time)リセット
- 2017年9月5日の運用で、探査機の時計をリセットした。
- これで、地球帰還までリセットの必要なし。

## ∎説明

- 探査機内で時刻を刻むカウンター =32ビット
- ・時刻の刻み:1カウント=約31ms(ミリ 秒=1000分の1秒)
- 32ビット=4,294,967,296 までカウント
   →約4年3ヶ月
- カウンターが最大になるとゼロに戻る (自動車の走行距離計と同じ)
- リュウグウ滞在中にカウンターがゼロ
   に戻ることを避ける





3. 小惑星到着に備えて



小惑星リュウグウに探査機が接近することは初めてであり、さらに事前に把握できている情報が少ない。

※「はやぶさ」のときは、事前にレーダーによってイトカワが観測さ れていた=形状や自転軸について信頼できる情報があった

 「はやぶさ」では、2回のタッチダウンをしたが、2回とも 予定通りにはできなかった。

「はやぶさ」の経験があるとは言え、全く楽観はできない



小惑星到着に備えて検討を進めている

※「はやぶさ」では、「こんなこともあろうかと・・・」



3. 小惑星到着に備えて



## ■「はやぶさ」のトラブルに対する「はやぶさ2」の対応

項目	「はやぶさ」での事象	「はやぶさ2」での対応
太陽フレア	2003年11月4日: 太陽フレアにより太陽電池パドルに 障害が生じ、発電量が下がった。	情報通信研究機構(NICT)に協力をお 願いし、「はやぶさ2」方向の宇宙天気 予報を出してもらっている。
リアクション ホイール:RW	2005年7月31日:X軸RWが故障 2005年10月3日:Y軸RWが故障 (Z軸RW(1台)のみ機能)	Z軸RWを2台搭載し、合計4台とした。 RWを使わない運用モード(ソーラーセ イルモード)により、RWの温存運用。
ミネルバ	2005年11月12日: 第2回降下リハーサルでミネルバを 分離するも、小惑星表面に降ろすこ とに失敗した。	「はやぶさ」での失敗は、ミネルバ分離 のタイミングが探査機の運用と整合し ていなかったためなので、運用をより 慎重に行う。
タッチダウン	2005年11月20日:1回目は不時着 2005年11月26日:2回目はタッチダ ウンは成功するも、プロジェクタイ ル不発。その後、燃料漏れに始ま る深刻なトラブルへ。	タッチダウン前に小惑星表面を詳細に 調べ、タッチダウンシーケンスを綿密 に検討し、実行する。



# 3. 小惑星到着に備えて



## ■天体の形状の予測と実際(例)

## ■イトカワ(「はやぶさ」)





明るさの変化(ライト カーブ)から推定 レーダ観測(1回目)

#### (左から)

Kaasalainen et al. Astronomy and Astrophysics, v.405, p.L29-L32 (2003) Ostro et al, Meteoritics & Planetary Science 39, Nr 3, 407-424, 2004 Ostro et al, Meteoritics & Planetary Science 40, Nr 11, 1563-1574, 2005



レーダ観測(2回目)



### ■チュリュモフ・ゲラシメンコ彗星(「ロゼッタ」)

NASA, European Space Agency and Philippe Lamy (Laboratoire d'Astronomie Spatiale, France)



明るさの変化(ライト カーブ)から推定

ESA/Rosetta/NAVCAM



実物

■ベヌー(「オサイリス・レックス」)



レーダ観測

形状モデル

M. Nolanらの論文:Icarus 226, 629-640, 2013



3. 小惑星到着に備えて



に持ち帰る→分析

13

## ■サクセスクライテリアとの関連

	ミッション目標	ミニマム	フル
理学	C型小惑星の物質科学的特性を調べ	小惑星近傍からの観測によ	採取試料の初期分析において、鉱
目標	る. 特に鉱物・水・有機物の相互作用	り、C型小惑星の表面物質に	物・水・有機物相互作用に関する新た
1	を明らかにする。	関する、新たな知見を得る。	な知見を得る。
理学	小惑星の再集積過程・内部構造・地	小惑星近傍からの観測によ	衝突体の衝突により起こる現象の観
目標	下物質の直接探査により、小惑星の	り、小惑星の内部構造に関す	測から、小惑星の内部構造・地下物
2	形成過程を調べる。	る知見を得る。	質に関する新たな知見を得る。
工学	「はやぶさ」で試みた新しい技術につ	イオンエンジンを用いた深宇	・探査ロボットを小惑星表面に降ろす。
目標	いて、ロバスト性、確実性、運用性を	宙推進にて、対象天体にラン	・小惑星表面サンプルを採取する。
1	向上させ、技術として成熟させる。	デブーする。	・再突入カプセルを地球上で回収する。
工学 目標 2	衝突体を天体に衝突させる実証を行 う。	衝突体を対象天体に衝突さ せるシステムを構築し、小惑 星に衝突させる。	特定した領域に衝突体を衝突させる。





3. 小惑星到着に備えて



## ■リュウグウが予想と異なる場合の対応案の例

項目	予想と異なる場合の対応案の例
自転	すでに、自転軸が傾いている場合を想定した検討している。到着後に自転軸 の向きを確認し、必要があれば運用計画を修正する。 自転周期が予想と大きく異なる場合には、自転軸の向きや表面状態を考慮し、 最も安全にタッチダウンできる場所を検討する。
重力	重力の大きさとしてGM=38m <sup>3</sup> s <sup>-2</sup> (※)を前提としているが、重力が強い場合に は、小惑星周りの運用の仕方を工夫したり、降下回数を減らすことで対応する。
形状	ほぼ球形を仮定しているが、球形でなくてもタッチダウンは可能である。(例:イ トカワへのタッチダウン)
温度	表面温度が高い場合には、タッチダウンできる時期が制限されるが、可能な 時期にタッチダウンができるように運用計画を修正する。
表面地形	安全性を優先してタッチダウンの場所を選定する。仮に、全表面がでこぼこす ぎてどこにも安全にタッチダウンできない場合、表面付近まで降下して浮遊し ている塵の採取を試みることも検討する。
*GMとは、	

※GMとは、万有引力定数×質量のことであるか、地球のGMは4.0×10<sup>14</sup>m<sup>3</sup>5<sup>2</sup>であり、リュワクワと は桁違いとなる。引力を振り切る速度(第2宇宙速度)で比較すると地球の場合が秒速約11kmであ るが、このGMのリュウグウ(半径450mを仮定)では秒速約41cmとなる。 14





## 3. 小惑星到着に備えて

## ■運用シナリオにおける対応

小惑星近傍運用シナリオ(案)





3. 小惑星到着に備えて



## ■運用シナリオにおける対応の方針(案)

- リュウグウ接近時に衛星を発見した場合には、安全を確認しながら運用を 行う。場合によっては、一時的に接近を中断することも検討する。
- 着陸機の分離前に運用が中断した場合には、中断した原因を考慮し、適切な時期に再度試みる。
- 1回目のタッチダウン(TD1)が予定通りに行えなかった場合には、2回目の タッチダウン(TD2)や衝突装置の運用には進まず、再度試みる。
- 2回目のタッチダウン(TD2)が予定通りに行えなかった場合、運用の進捗 状況によってはTD2は行わずに衝突装置の運用に移る。
- 衝突装置によってクレーターが作れなかったときには、その後に行うタッチ ダウン(予定ではTD3)はサイエンスチームとどのように行うかを協議する
- 3回目のタッチダウン(TD3)が予定通りに行えなかった場合、運用の進捗 状況によってはTD3は行わずに帰路に備える。



4. LSS訓練:LSS訓練とは?



- LSSとは、着陸地点選定(Landing Site Selection)の意味。
- ただし、はやぶさ2母船では着陸とはタッチダウン、つまりサン プラーホーン先端を小惑星表面に数秒間接地させ、表面の 砂を採取して離脱することを指す。
- つまり、LSSとは、サンプル採取地点とMASCOTとMINERVA-IIの 着陸地点を科学価値と安全性の観点から選ぶことを指す。
- 一回目のタッチダウン(TD1)は10月下旬を想定しており、その ためにはLSSを8月半ば頃までに行わなくてはいけない。
- データはBox A(高度約20 km)、Box C(高度5~7 km)、中高度
   (高度 5 km精密制御)のリモセン観測及び重力測定より得られる。
- 短期間で的確なLSSが行えるよう、今年度、地上で、シミュレー タと画像生成装置を使ったLSS訓練を実施している。



4. LSS訓練: LSSDP & LSSAA



- LSS訓練には、はやぶさ2に参画する科学者・エンジニアのうち約 100名が携わり、日本の他、欧州からも数十名が参画して、今年 度の前半に実施した。
- LSSDP: "真"のモデルの設定と観測データの生成
  - 小惑星:軌道、質量、自転軸方向、自転周期、形状
  - 探査機:軌道(重力,放射圧,ΔV)、姿勢、撮像計画
  - 観測データ(時系列):フィルター7バンド可視画像、近赤外スペクト ル、熱赤外画像、LIDAR測距値
  - 付帯データ:小惑星エフェメリス(軌道歴)、探査機ドップラー、探査 機推定軌道、姿勢情報、太陽位相角
- LSSAA: 観測データ解析とLSS過程の訓練
  - 画像(ONC, TIR)/データ(NIRS3, LIDAR)処理
  - 形状モデル、自転軸方向、自転周期、探査機位置
  - マップ作成、地質/ボルダー/クレーターの分布





- 地球接近小惑星(NEA)で、地球に衝突する可能性もある小惑星 (潜在的に危険な小惑星、Potentially Hazardous Asteroid: PHA)
- 直径850~880 mのC型小惑星(水・有機物含有)、より大きな小惑星(母天体)が衝突破壊されて形成された破片天体である。
- 母天体は小惑星帯(メインベルト)の内側付近にあった微惑星の 可能性が大きい。その形成期には熱水活動で鉱物が水質変成を 受けていたらしい(地上分光観測+隕石学的知見)。
- リュウグウは母天体の破壊で形成された後、内側に移動し、他の 惑星の重力の影響で軌道が大きく変化し、NEAになった。NEAとし ての寿命は典型的には1000万年程度で、惑星の重力の影響を 受け、他天体に衝突したり、遠方に放出されたりしてしまう。
- 表面は炭素質コンドライト隕石的と類推されるが、多様な型の隕 石片が混合したメタコンドライト的な可能性もあり、想定が困難。

参考資料「小惑星リュウグウについて」、「隕石の分類」参照



# 4. LSS訓練:リュウゴイド(Ryugoid)

形状モデル:三浦昭(宇宙研) 368,955,296ポリゴン (11.2 cm サイズ) 熱モデル:田中智(宇宙研) 331,832ポリゴン (3.74 mサイズ) 地質モデル:中村智樹(東北 大)/本田理恵(高知大)他

"キングダム"

半球



北半球※

黄経( $\lambda$ ):356<sup>°</sup>.51 黄緯( $\beta$ ):-36<sup>°</sup>.91 初期位相  $\theta_0$ :8<sup>°</sup>.62 自転周期 7.31621時間 重力(質量)  $GM = 38.162 \text{ m}^3/\text{s}^2$ ※ 極を右手の親指で押さえた時,他の 指の向きに自転する方が「北極」

"フォレスト"

半球

自転軸向き





4. LSS訓練: ONC画像





(アニメーション)



4. LSS訓練: ONC画像













24







• 自転周期決定にはある程度の観測期間が必要







TD1の安全スコア(0~40で小さいほど安全)の表面分布







層状含水ケイ酸塩



3µm吸収ピーク波長(µm)



LSSAA 最終プロダクト:NIRS3チーム[北里宏平(会津大)他]





#### 0.55 µm反射率



紫外域のスペクトル勾配



#### 0.7 µm吸収深さ: Fe<sup>2+</sup>↔Fe<sup>3+</sup>



LSSAA 最終プロダクト:ONC チーム[諸田智克(名古屋大)他]





LSSAA 最終プロダクト: TIRチーム[坂谷尚哉(明治大)他]



LSSAA 最終プロダクト: ONC 画像(Box C) → ボルダーサイズ頻度分布(諸田智克)

これより、TDに支障をきたす直径0.3m以上のボルダーの個数密度を推定した。



# 4. LSS訓練: TD1候補点の評価結果

#### \*参考資料に「隕石の分類」を記載

候補   地点	名称	隕石 <b>*</b>  グループ	水質     変成度	熱変成度   	宇宙 風化度	全炭素   量	不溶性   有機物	ボルダ   数密度	総合評価 
Potential LS	Name	Meteorite group	High aqueous alteration	Low thernal alteration	Low space weathering	High total Carbon	High IOM contents	Low Boulder density	Total evaluation
Zone A	Sleepy	CM +dehydrated	O (high T)	Ø	0	Δ	0	×	~MSC2
Zone B	Snow White	СМ	◎(high T)	Ø	Ø	Δ	Δ	Ø	1st candidate
Zone C	Squire	Cl or Hydrated CM	O (low T)	0	$\Delta$ ?	Ø	0	×	3rd candidate
Zone D	Bildung P.	dehydrated CM?	×	×	×	Δ	0	×	MSC 1
Zone D2	Mirror P.	dehydrated CM?	×	×?	x ?	Ø	Ø	0	2nd candidate
Zone E	Seven M.	dehydrated CM?	×	×	×	Δ	0	×	
【注釈】 CM·员	】 ; 去啠ㄱ、	ノドライト	3 / 0.7um absorption	3 um abs depth	SW index	A_390 nm	A_550 nm	Boulder number	(D > 0.3 m) in r < 50 m
σινι. μ σ	(派員二)	k に 宣 t 、	◎ : str abs	◎ : few	◎ : few	◎ : v low	◎ : v low	◎: < 500	
Hydrated:水質変成した		O : weaker	O: weak	O: weak	O:low	O:low	O : 500-	-10000	
		× : no abs		∆: normal	∆ : high	△ : high	× : > 100	00	
Denyc		いたした		3 <i>µ</i> m帯	× : strong				
NISC:	IVIASCO	1		吸収深さ		A λ:波	長んでのフ	アルベド(	反射率)。



#### 母船の着地点(TD1)、MASCOTの着陸地点、MINERVA-IIの着陸地点の組み合わせ





5. サイエンス:科学目標



- 理学目標1:太陽系における物質進化過程の謎解き
   C型小惑星の物質科学的特性を調べる。特に鉱物-水-有機物の相互作用を明らかにする。
- 理学目標2:微惑星の物理進化過程の謎解き
   小惑星の再集積過程・内部構造・地下物質の直接探査により、小惑星の形成過程を調べる。
- エ学目標1:深宇宙サンプルリターン探査技術の確立
   「はやぶさ」で試みた新しい技術について、ロバスト性、
   確実性、運用性を向上させ、技術として成熟させる。
- **工学目標2:宇宙衝突探査技術の実証** 衝突体を天体に衝突させる実証を行う。



5. サイエンス:リモートセンシング

- - OH or H<sub>2</sub>Oが無水ケイ酸塩/ガラスに入る。:水質変成
  - 3 μm吸収帯(強さ:含水量;形状や最大吸収波長:種類)NIRS3 400℃~600℃の加熱で脱水進行 炭素質隕石(CM)の加熱実験
  - 0.7 μm吸収(宇宙風化/加熱で消失)
- ONC-T 

   ・有機物の多様化
  - 鉱物を触媒とする熱水反応
  - アルベドやスペクトル勾配で判断











リュウグウ母天体



Mogi et al. 2017, MetSoc



SCI: Small Carry-on Impactor, DCAM3: Deployable Camera 3



# 5. サイエンス:地球初期進化への知見

- リュウグウは母天体の故郷・小惑星帯(メインベルト)から放出され、地球衝突の危険もある地球接近小惑星(NEA)の1つ。過去に地球への大接近の影響が表面に残されている可能性もある。
- 小惑星帯から地球へと太陽系史 を通じて物質が供給されてきた。
- 特に地球形成直後は、現在より はるかに多くの小惑星が地球に 衝突していたと考えられ、それが 初期地球の環境に、さまざまな 影響を与えたと考えられている。



- 水(海洋)と有機物(生命材料)の供給源については、現在も論争 が続くが、水や有機物を多く含む C型小惑星はその鍵を握る。
- はやぶさ2探査は C型小惑星リュウグウの水・有機物などの存在 量や存在形態を制約して、初期地球環境の理解に貢献する。



5. サイエンス:国際協力



- はやぶさ2は、リモートセンシング観測、その場観測、地球に持ち 帰られた試料分析を組み合わせた世界初の総合探査である。
- その場観測は、日本のローバーMINERVA-IIの他、ドイツ航空宇宙 センター(DLR)とフランス国立宇宙研究センター(CNES)が共同開 発した小型着陸機MASCOTを小惑星表面に投下して行われる。
- MASCOTは可視カメラ、放射量計、磁力計、赤外分光顕微鏡が搭載され、ホッピングで場所を変える機能を持ち、越夜をして、表面の観測を行う。
- また、米国の探査機OSIRIS-RExが、地球接近 小惑星ベヌー(B型)に向かって航行中であり、 2018年8月に現地到着の予定である。そして 表面試料を採取して2023年に地球帰還を目指している。



 そのため、日本一欧州一米国の間で、小惑星探査に関する多様 な連携が進んでいて、相乗作用により成果拡大が期待される。



6. 広報・アウトリーチ



## ●小惑星の自転パラメータ・ツイッター募集:当選者発表

## ● "小惑星リュウグウ、想像コンテスト

※はやぶさ2Webのトップページの図を変更します



#### 新しい表示(お楽しみ)



6. 広報・アウトリーチ



## 小惑星の自転パラメータ募集(2017.2.12-20)





6. 広報・アウトリーチ



"小惑星リュウグウ、想像コンテスト

## リュウグウの姿を想像して描いてもらう。→最も似ているもの、楽し いものなどを表彰する。

コンテストの進め方

- コンテストに参加してもらえる科学館などを募集する(コンテストの "ノード"となる)。
- 各ノードで自由に募集をしてもらう(イラストでもモデルでもOK)。
- 作品の募集は2018年4月末まで。
- リュウグウがはっきりと見えてきたとき(2018年夏)に、各ノードで 優秀な作品を選んでもらい、はやぶさ2プロジェクトにノミネートし てもらう。
- はやぶさ2プロジェクトで入選作品を選び、表彰する。



7. 今後の予定



## ■主要項目

- 2017年度内を目処
- 2018年初頭
- 2018年5月頃から
- 2018年6月から7月
- 到着以降8月半ば
- 8月中旬以降

- :小惑星到着時の運用訓練を終了
  - :第3期イオンエンジン運転を開始
  - :光学航法によりリュウグウ接近
  - :リュウグウ到着
  - :LSS(着陸地点選定)
  - :OSIRIS-RExがBennu(ベヌー)に到着



7. 今後の予定:



第3期イオンエンジン運転

- 小惑星到着前の最後の長期のイオンエンジン運転
- 計画通りにイオンエンジンを噴射できないと小惑星に到着できないか、到着がかなり遅れることになり、非常に重要な運用である。
   (例えば、数日の推力喪失が数か月の遅れに繋がる。到着間際のトラブルほど厳しくなる。)
- イオンエンジン運転開始:2018年1月8日の週の予定
- イオンエンジン運転終了:2018年6月4日の週の予定
- 小惑星到着(ホームポジション到着)は6月21日~7月5日頃(正確な日付は、アプローチフェーズの精密航法誘導法の詳細設計やイオンエンジン運転中の2018年5月に実施する小惑星撮像の結果に依存する)



7. 今後の予定:記者説明会



- 2018年春頃 : イオンエンジンの運転状況と到着予想
   アプローチフェーズの説明
- 2018年5月以降:状況に応じて随時報告









これまでの主要な経緯



:開発フェーズ 2011~2014年度 2014年12月3日 : 打上げ 2014年12月3-5日 :クリティカル運用 2014年12月6日~2015年3月2日 :初期機能確認 :往路巡航フェーズ 2015年3月~ : 地球スイングバイ(地球・月観測) 2015年12月3日 2015年12月4日~2016年4月 :南半球局運用 :イオンエンジン運用(次ページ参照) 2016年~ :新規技術試験 ・アップリンク・トランスファー ·Ka带通信 DDOR ソーラーセイルモード :試験観測(火星、木星、恒星) 45







運転

時間

—

409 h

24

102

12

台数

-

2

3

2

2

増速

m/s

\_

44

4

11

1.3

### ■スイングバイ以前

第3期イオンエンジン運転		期間	名	称	
(2018年初の頃~到看) Ryugu の軌道	けちごさつの動送	初期機能確認	IES動作試	験	
		2015/3/3-21	IES動力航	ī行1	
		2015/5/12-13	IES最大推	力試験	
第2期イオンエンジン運転 (2016/11/22~2017/4/26)		2015/6/2-6	IES動力航	ī行2	
		2015/9/1-2	IES動力航	ī行3	
Ryugu到着 (2018年6-7月) 地球スイングバイ (2015/12/3)	打上げ (2014/12/3) ■スイングバイレ	第1期イオンエンジ (2016/3/22~ 以降	ゲン運転 √5/21・追加!	<b>賃射含む</b> )	
		名称		台致	ξ
	2016/3/22~2016/5/21	第1期イオンエン	ジン運転	3(一部2	台)
	2016/11/22~2017/4/26	第2期イオンエン	ジン運転	3(一部2	台)
	2018年初め頃~到着	第3期イオンエン	ジン運転	2→3※	

間\_\_\_\_\_ 798 h

運転時

2558

2700 💥

(※…計画值)

増速

m/s

127

435

400×

46











リモートセンシング機器





## 中間赤外カメラ(TIR)



8~12µmでの撮像:小惑星表面温度を調べる



30m~25kmの範囲で、小惑星と探査機の間の距離を測定する



## 小惑星近傍運用検討の体制







小惑星リュウグウについて1



162173 Ryugu (1999 JU<sub>3</sub>) 地球接近小惑星(アポロ群)

- 軌道要素: 元期2458000.5 TDB(2017/09/04世界時0時) JPL 小天体 データベースブラウザ https://ssd.jpl.nasa.gov/sbdb.cgi#top 2017/12/10閲覧
  - 軌道長半径 1.18956 au、離心率 0.19028、軌道傾斜角 5.8839°
  - 昇交点経度 251.591°、近日点引数 211.447°、近日点通過時刻 2017/02/13.25148、公転周期 473.8908日=1.29747年
  - 近日点距離 0.96321 au、遠日点距離 1.41592 au
  - 地球との最小軌道交差距離 0.00112 au (潜在的に危険な小惑星)
- 小惑星の物理パラメータ
  - 自転周期 7.6326 h、自転軸 黄経(λ) 325±15°、黄緯(β)-40±15°、
     熱慣性 150-300 J m<sup>-2</sup> s<sup>-1/2</sup> K<sup>-1</sup>、非常に低い表面ラフネス [Müller+ 2017]
  - 平均幾何半径 865±15 m、形状はほぼ球形 [Müller+2017]
  - アルベド: 幾何 0.047±0.003、Bond 0.014±0.002 [Ishiguro+ 2014]
  - スペクトル型 Cg [Binzel+ 2001]、反射スペクトルの勾配はほぼ平坦だが、 近赤外域ではわずかに赤化し、紫外域では弱い落ち込みがある. 隕石で は加熱を受けたCMかCIの反射スペクトルに似る。[Perna+ 2017]

TDB:太陽系力学時、au:天文単位、1 au = 1.49598 × 10<sup>11</sup> m



名称 確定番号 仮符号

大きさ

形

自転周期

自転軸の向き : 黄経λ=310°~340°

反射率

タイプ

軌道半径 公転周期 密度•質量

# 小惑星リュウグウについて2

: Ryugu(リュウグウ)

1999年5月に発見された小惑星

黄緯β=-40° ±~15°

: C型(水・有機物を含む物質が

: 現時点では不明であるが、0.5-4.0g/cm<sup>3</sup>の

質量は1.7×10<sup>11</sup>kg~1.4×10<sup>12</sup>kg程度。

: 162173

: 1999 JU3

:約900 m

: ほぼ球形

:約7時間38分

: 0.05 (黒っぽい)

:約1億8千万km

密度を仮定している。

:約1.3年

あると推定される)



## リュウグウの軌道





(T. Mueller氏による)



リュウグウの自転軸について1









# リュウグウの自転軸について2





- はやぶさ2は、太陽と地球を背にして(太陽電池・ハイゲインアンテナ 面を太陽・地球方向へ向けて)リュウグウへ接近、着陸する。
- 自転軸の向きによって、着陸できる時期・エリアが大きく変わる。

