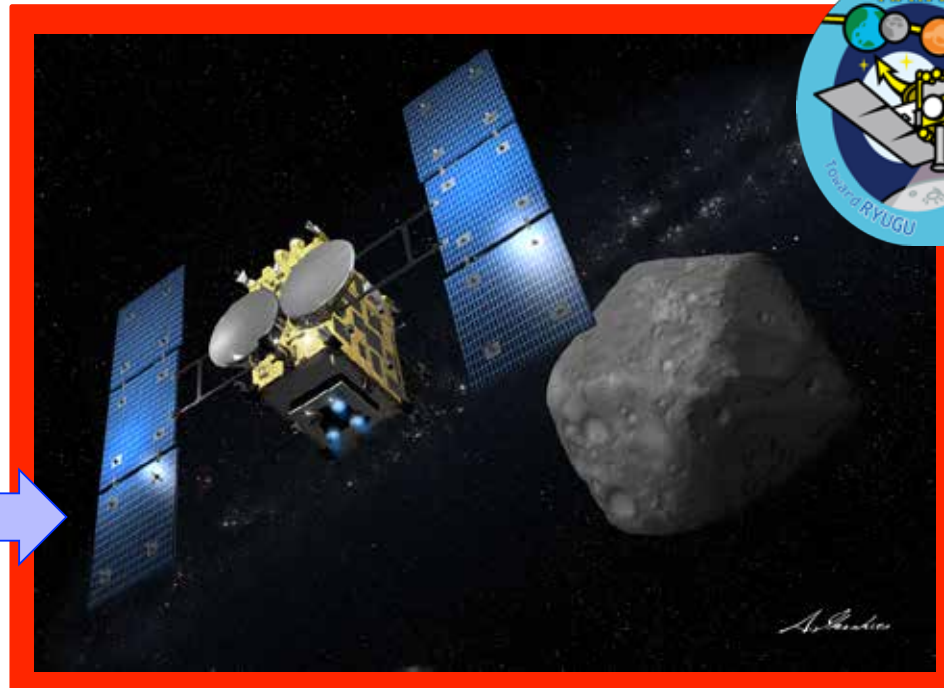


JAXAタウンミーティング in 山梨県立博物館

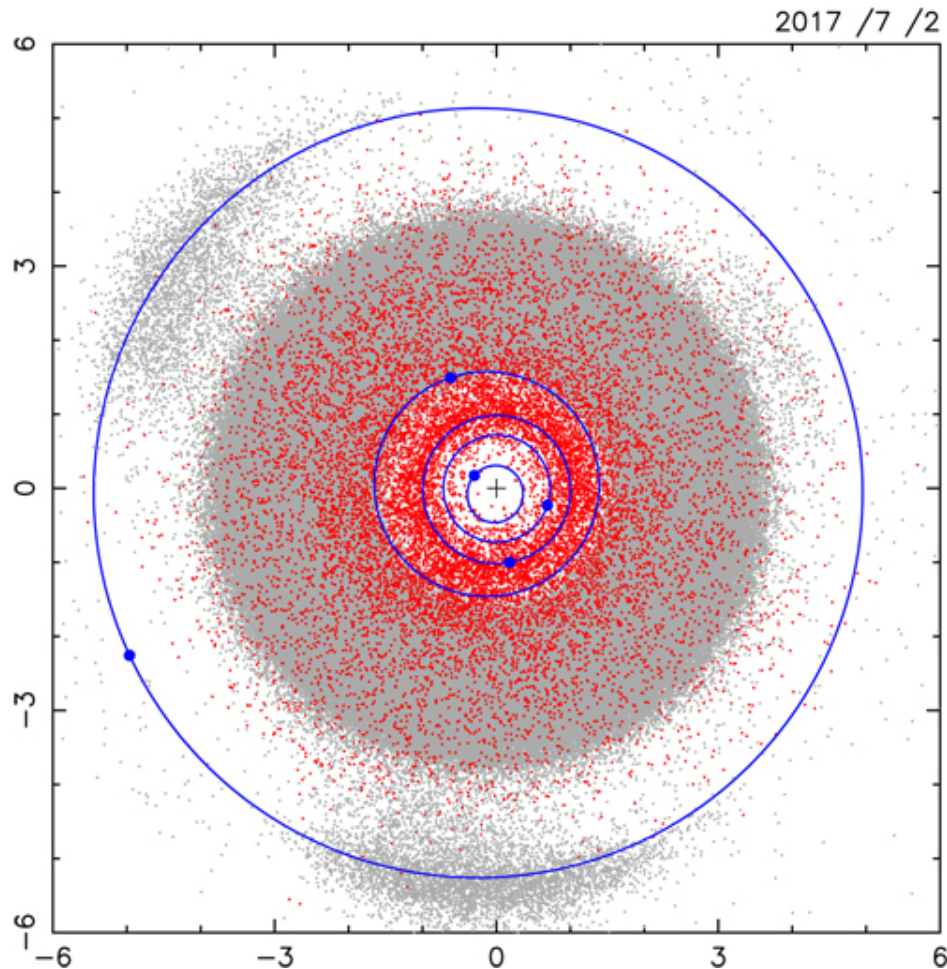
小惑星にかける夢



山梨県立博物館
2017年7月30日

吉川 真 (JAXA)

小惑星の分布と数



2017年7月の時点で、発見され軌道が求められている小惑星：

約74万個

確定番号付き（軌道が正確に求められているもの）：

約50万個

地球軌道に接近するもの（NEO）：

約16,000個

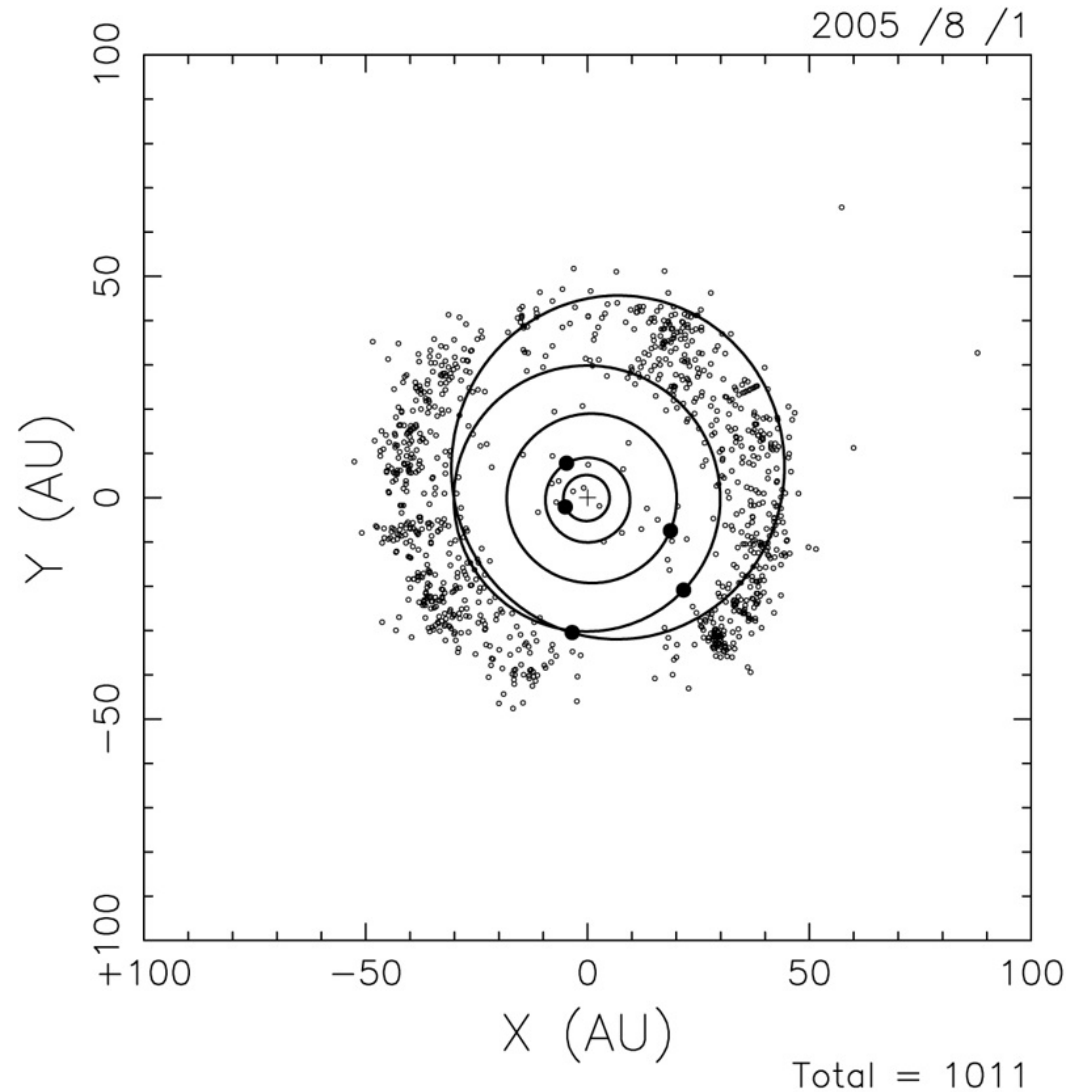
図は、発見されている約74万個の小惑星の2017年7月2日の位置を示したものである。中心が太陽で、軌道は内側から水星、金星、地球、火星、木星である。灰色の点の小惑星で、赤い点は、そのうちのNEO(地球に接近する小惑星)を示す。(軸の単位は、天文単位。1天文単位は約1億5千万km)

太陽系外縁天体

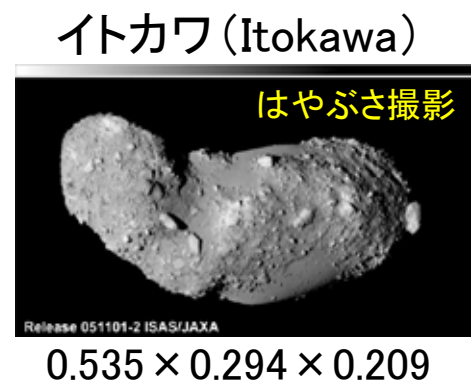
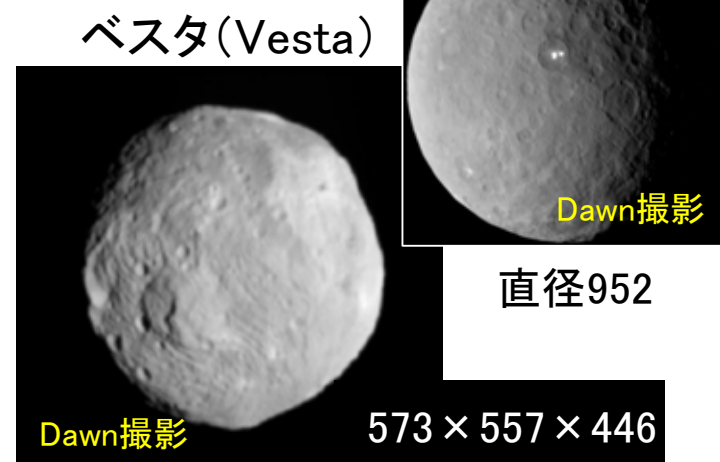
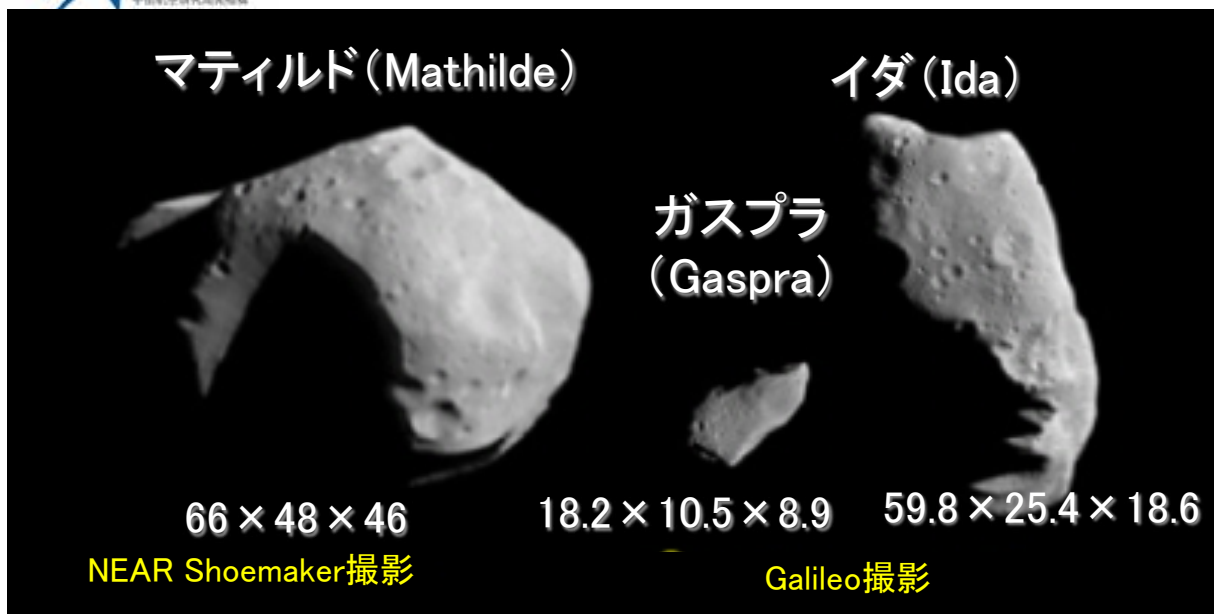
「エッジワース・カイパーベルト天体」とも呼ばれている。

最初の天は、1992年に発見 (1992 QB1)

2017年7月の時点では、約2700個発見される。



探査機が見た小惑星



大きさは直径(端から端まで)で、単位はkm。値はトータティス以外は理科年表(平成29年版)による。トータティスの値はJPLのWebより。写真は、NASA、ESA、中国国家航天局、JAXAによる。

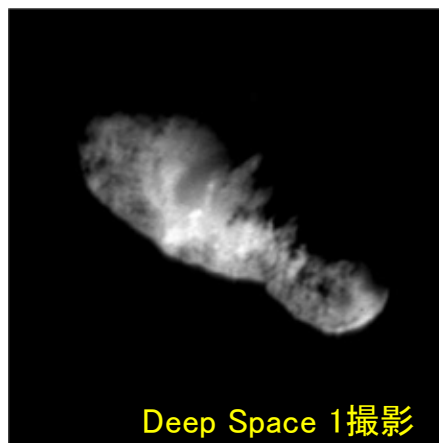
探査機が見た彗星

Halley彗星



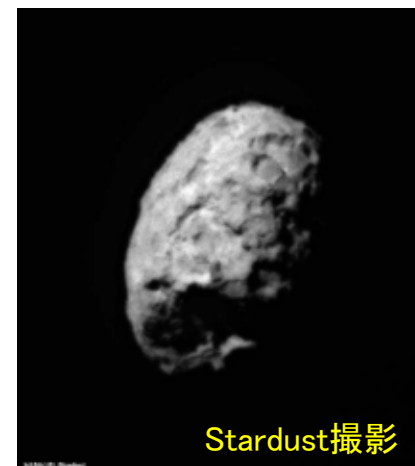
14.4 × 7.4 × 7.4 km

Borrelly彗星



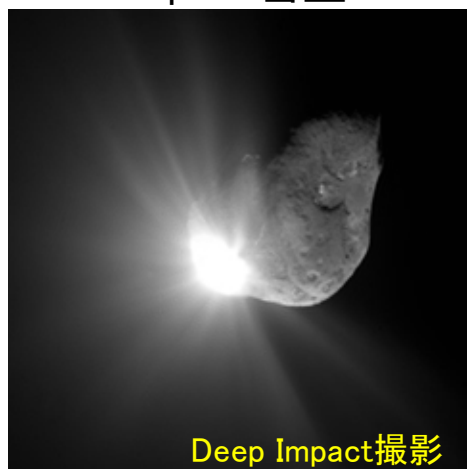
4.0 × 1.58 km

Wild 2 彗星



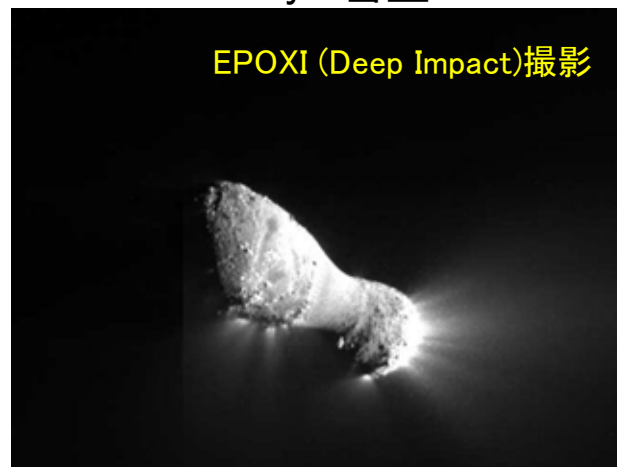
5.4 × 3.8 × 3.0 km

Tempel 1彗星



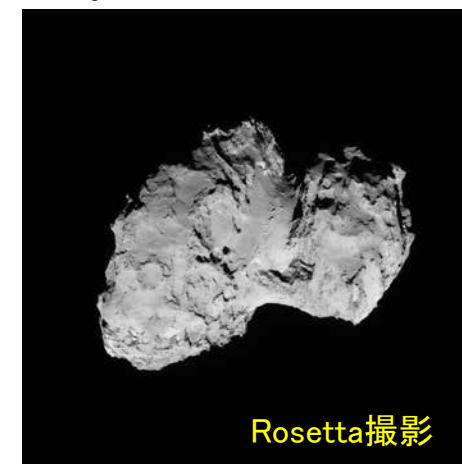
7.6 × 4.9 km

Hartley 2彗星



0.69 × 2.33 km

Churyumov-Gerasimenko彗星



4.1 × 3.3 × 1.8 kmおよび
2.6 × 2.3 × 1.8が合体

大きさの値は理科年表(平成29年版)による。
写真は、ESA、NASAによる。

日本の月惑星探査

× ルナー-A



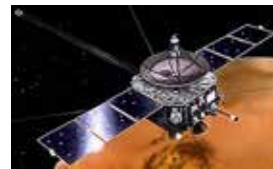
月

ひてん



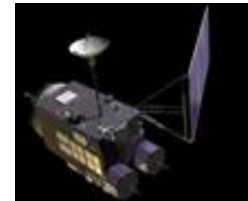
月

× のぞみ



火星

かぐや



月

イカロス



あかつき



金星

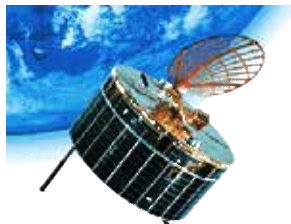
ベピコロンボ



水星

1985

さきがけ



すいせい



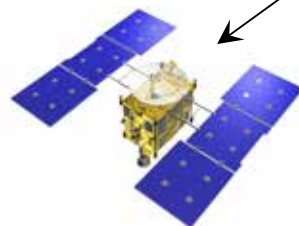
ハレー彗星

1990

1998

2003

はやぶさ



イトカワ

2007

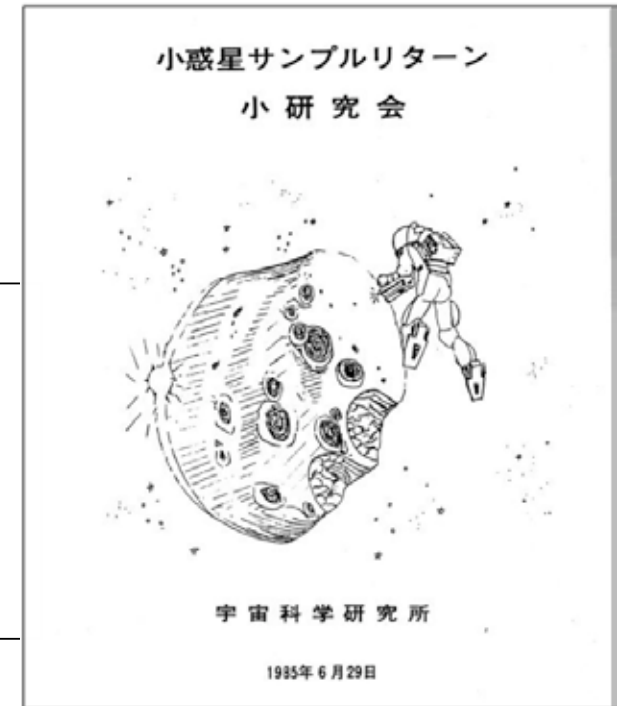
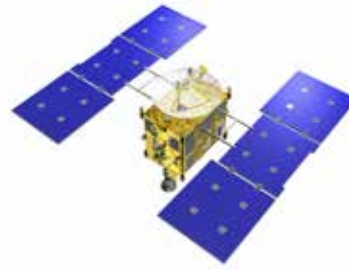
2010

2014

はやぶさ2
リュウグウ



PROCYON



長い夢の実現

打ち上げ：2003年5月9日（7年のミッション）

探査機の開発：1996年頃から（地球帰還まで14年）

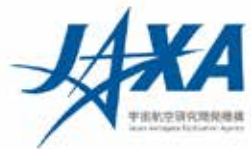
そもそものアイデア：1985年頃（25年前の夢！）

挑戦

- 小惑星まで行って、その表面物質を採取して、地球に戻ってくる（太陽系天体往復探査）。
- 数々の新しい惑星探査技術を実証する。（イオンエンジン、自律航法、微小重力下での試料採取、カプセルの地球大気への再突入など）
- 微小な地球接近小惑星を詳しく調べる。

世界初

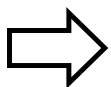
- 月以外の天体に着陸してから地球に戻ってきた探査機は「はやぶさ」が初めて。
- そもそも、地球・月以外の太陽系天体から探査機が離陸したのは「はやぶさ」が初めて。
- 大きさがたった500mの天体に行くのは「はやぶさ」が初めて。
- 小惑星から物質を持ち帰るのは「はやぶさ」が初めて。
- 惑星間空間を飛行してきた探査機が、大気圏突入したのは「はやぶさ」が初めて。（ただしこれは、予定外）



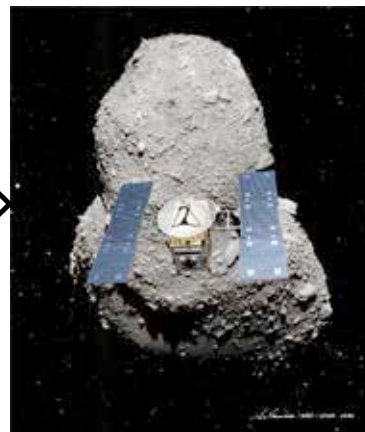
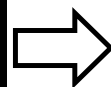
「はやぶさ」 ミッション シナリオ



打ち上げ
2003年5月9日



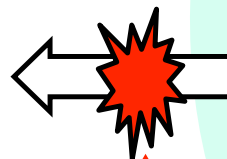
地球スイングバイ
2004年5月19日



イトカワ到着
2005年9月12日



観測・サンプル採取



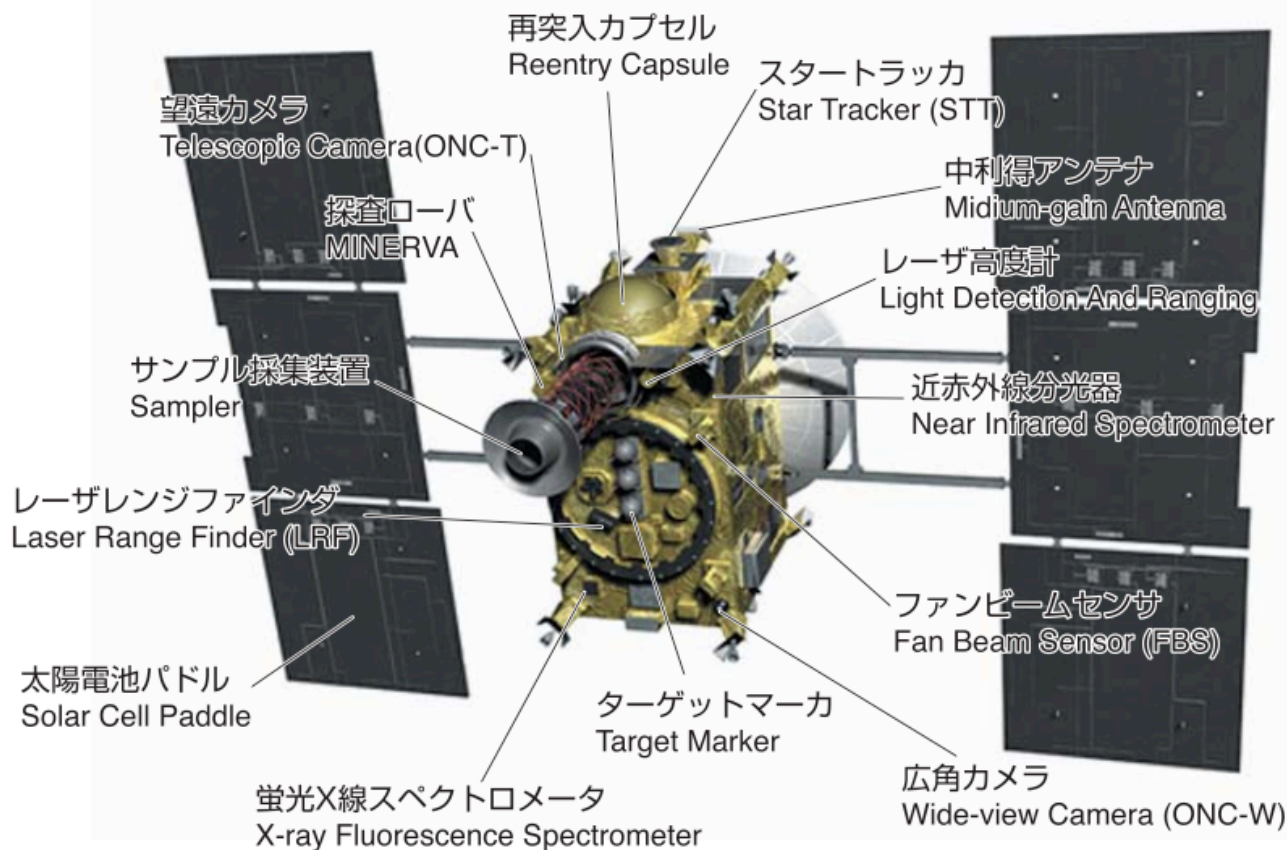
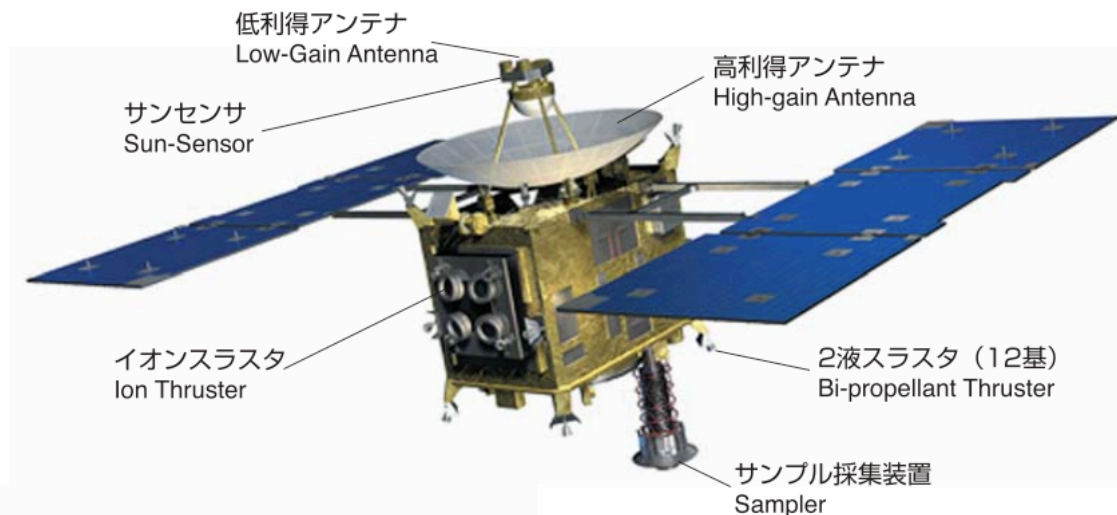
深刻な
トラブル



地球帰還
2010年6月13日



はやぶさ探査機



技術の結集
||
技術の集合体

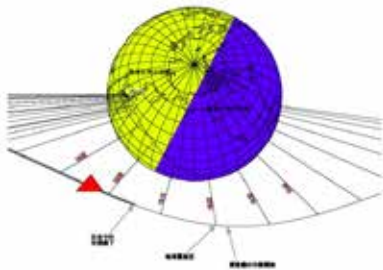
「はやぶさ」の技術への挑戦

2003.05.09

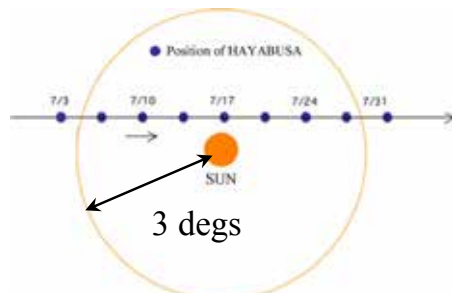


打ち上げ

2004.05.19



地球スイングバイ



合

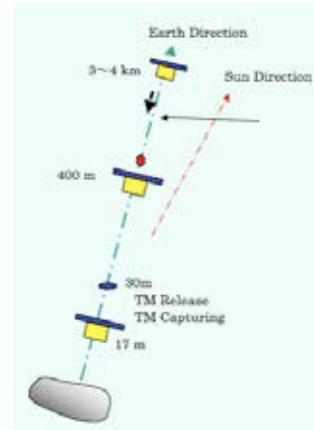


光学航法

小惑星到着 2005.09.12



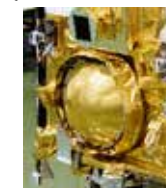
イトカワ
接近運用



タッチダウン



再突入カプセル



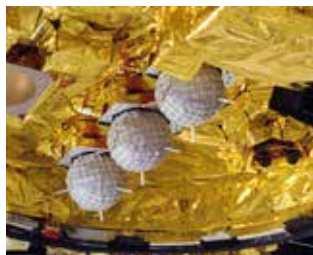
2010.06.13

10

新しい技術



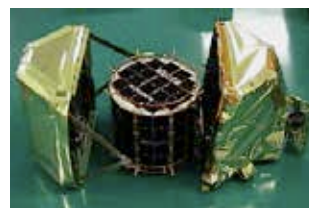
イオンエンジン



ターゲットマーカ



サンプラー

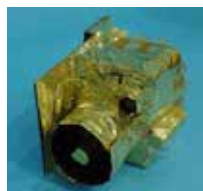


ミネルバ

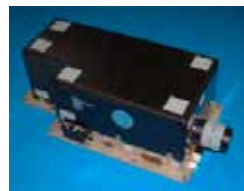
観測装置



AMICA



LIDAR



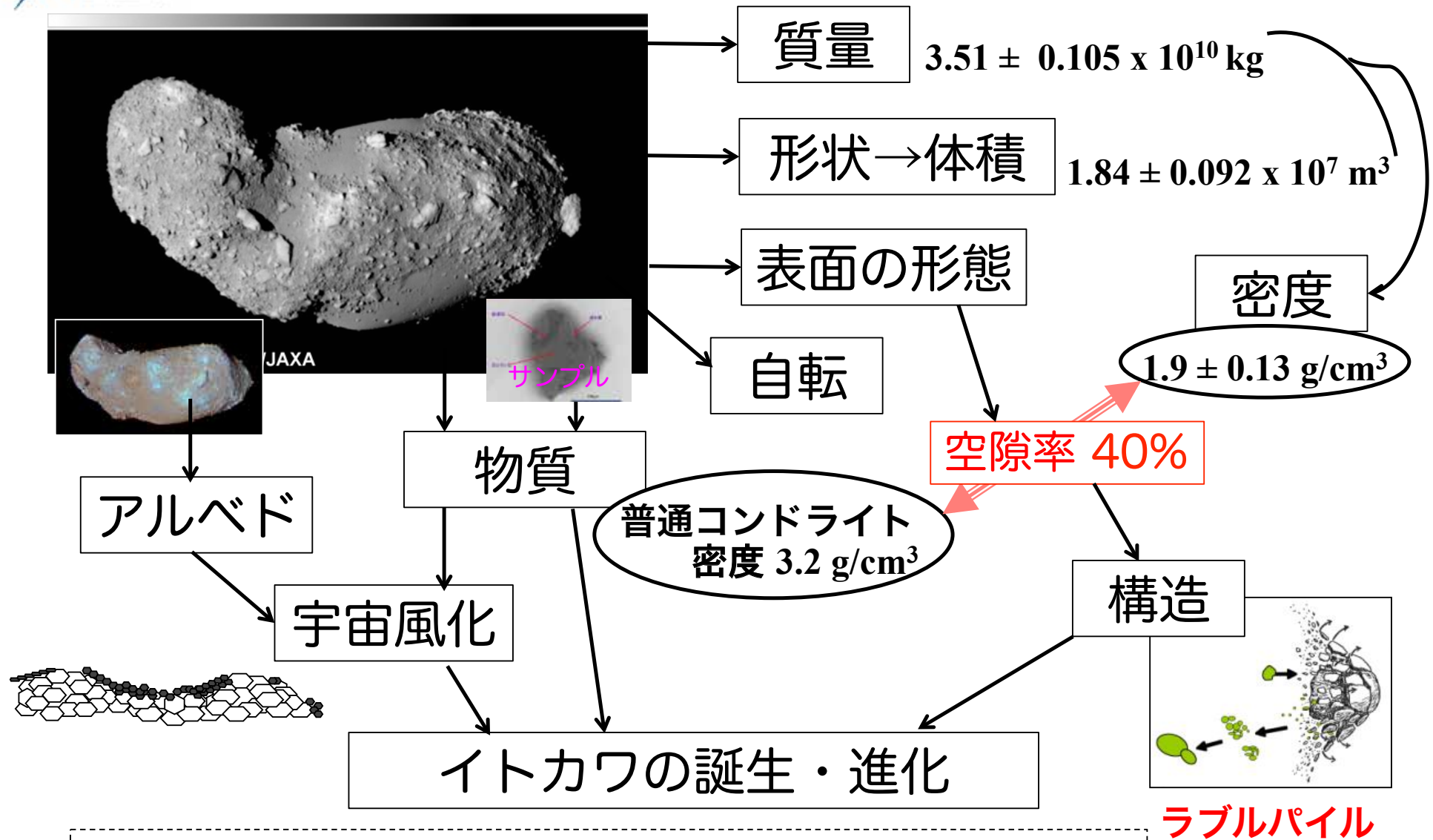
NIRS



XRS

想定外の
トラブル

小惑星イトカワに関する科学的成果



- ・最初に生まれた天体(微惑星?)は大きさが20km (直径) 以上
- ・温度が600°Cから800°Cまで上昇
- ・イトカワの母天体の衝突破壊は13億年前か?

「はやぶさ」が教えてくれたこと

もちろん、「技術」や「科学」について、「はやぶさ」は多くのことを教えてくれましたが、それに加えて…

- 世界初に挑戦することのすばらしさ → はやぶさ2でも同じ
 - ・初めて天体を見たときの感動
 - ・困難に打ち勝つ忍耐とチームワークの大切さ
- 世界初に挑戦することの難しさ → はやぶさ2で改善
 - ・想定外の出来事 → いかに事前に予測するかが鍵
 - ・予期せぬトラブル → 信頼性、ロバスト性の向上が重要
- 現代における“真”の冒険の重要性 → はやぶさ2へ
 - ・若い世代へ (orすべての世代へ) 夢を
 - ・科学と技術へ強い関心を持ってもらうために

「はやぶさ2」 ミッション 意義

1. 科学的意義

「我々はどこから来たか」－ 太陽系の起源と進化、生命の原材料の探求

地球、海、生命の原材料物質は、惑星が生まれる前の原始太陽系星雲の中に存在していたが、太陽系初期には同じ母天体の中で、互いに密接な関係を持っていた。この相互作用を現在でも保っている始原天体（C型小惑星）からのサンプルを分析することで、太陽系の起源・進化の解明や生命の原材料物質を調べる。

2. 技術的意義

「技術で世界をリードする」－ 日本独自の深宇宙探査技術の継承と発展

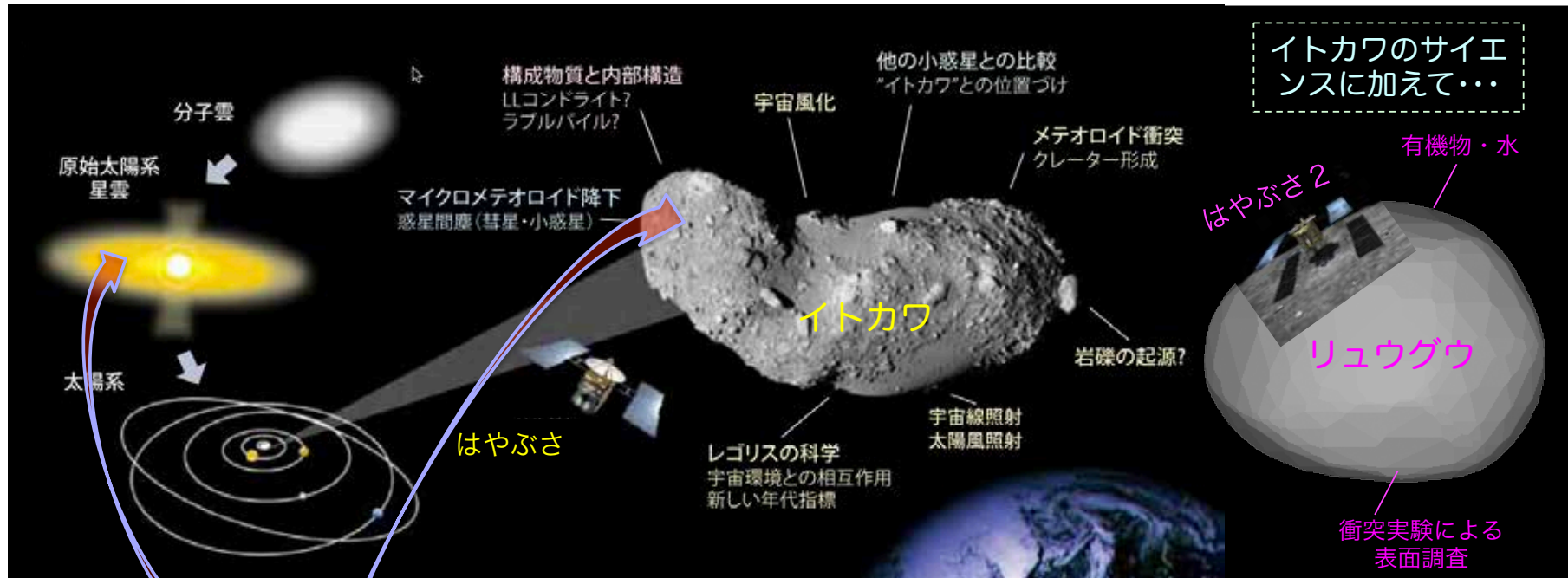
「はやぶさ」は世界初の小惑星サンプルリターンとして、数々の新しい技術に挑戦したミッションであった。その経験を継承し、より確実に深宇宙探査を行える技術を確立する。さらに、新たな技術にも挑戦し、今後の新たな可能性を開く。

3. 探査としての意義

「フロンティアへの挑戦」－ 科学技術イノベーション、産業・社会への波及、国際プレゼンス発揮、青少年育成等の効果

未踏の地に踏み込むことで、新しい科学技術を創造し、産業に貢献するとともに、スペースガード、資源利用、有人探査のターゲット等の科学以外の観点から小天体に対応することで社会に貢献する。

小惑星サンプルリターンの科学



太陽系の過去
について

■太陽系の誕生と進化を解明する

- ・どのような物質がどのような状態で存在していたのか?
- ・惑星はどのようにして誕生し進化したのか?
- ・生命の原材料（有機物・水）は何か?

太陽系の現在
について

■隕石のキャリブレーション（校正）をする

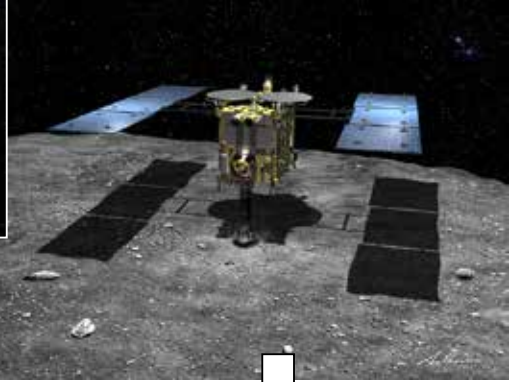
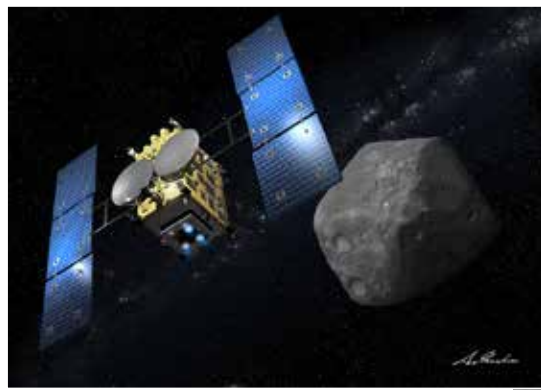
- ・隕石と小惑星サンプルはどのような関係になっているか?
- ※膨大な数の隕石が収集されているが、これらは地球の大気や水等で汚染されているため、宇宙にあったときの状況を推定することが困難である。小惑星サンプルと比較することにより、隕石を貴重な試料に変えることができる。

JAXA 「はやぶさ2」 ミッション シナリオ

2014年12月3日 打ち上げ

2018年6-7月 小惑星到着

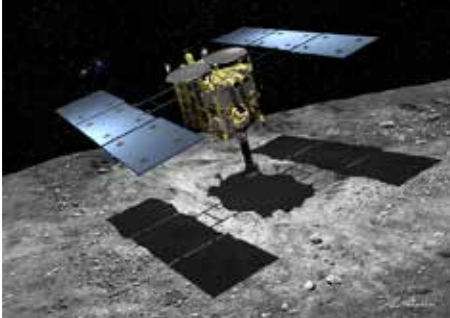
地球スイングバイ 2015年12月3日



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)

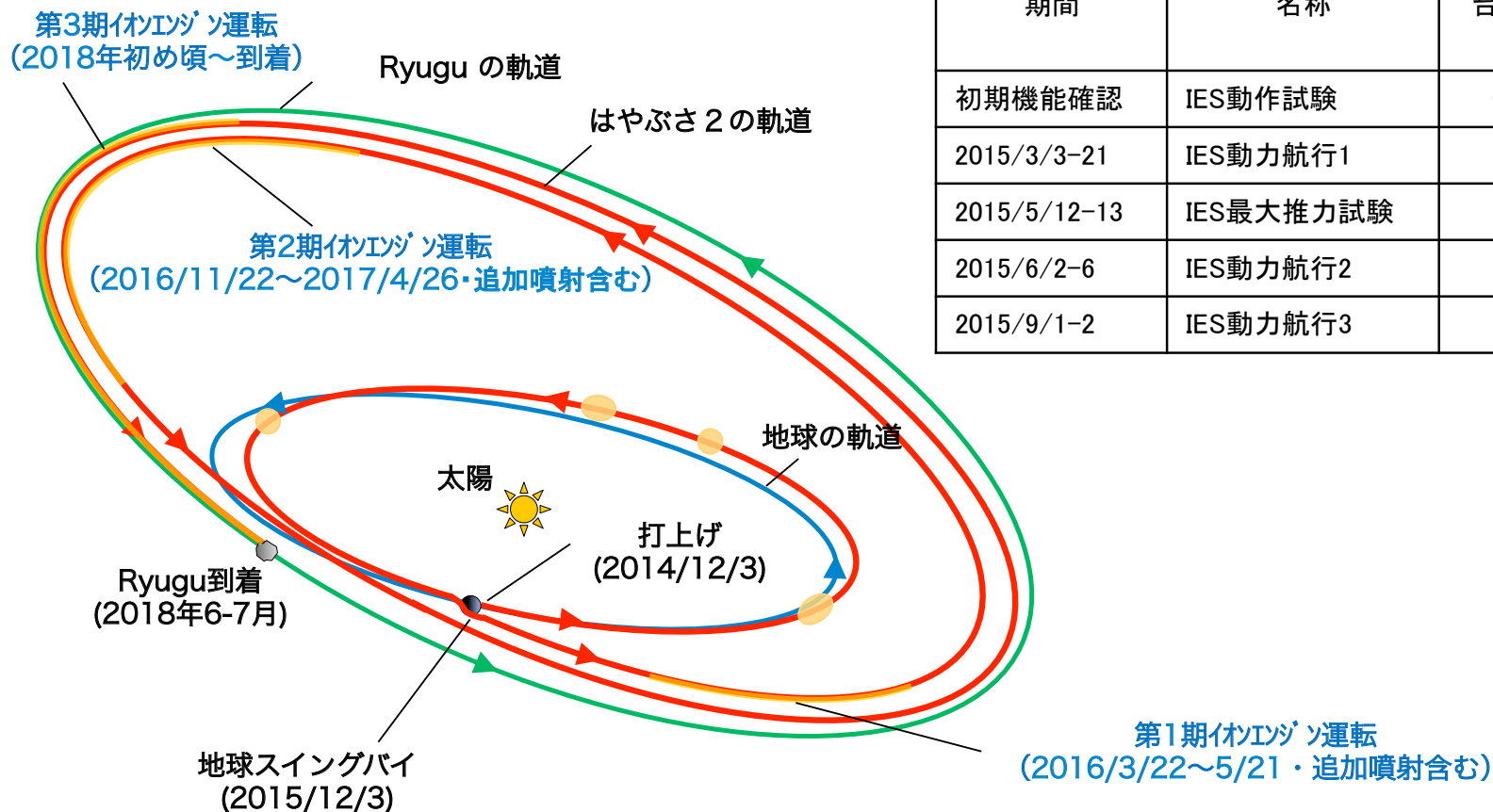
安全を確認後、クレータにタッチダウンを行い、地下物質を採取する。

衝突装置によって、小惑星表面に人工的なクレータを作る。

はやぶさ2の軌道

■イオンエンジン（スイングバイ以前）

期間	名称	台数	増速 m/s	運転時間
初期機能確認	IES動作試験	-	-	-
2015/3/3-21	IES動力航行1	2	44	409 h
2015/5/12-13	IES最大推力試験	3	4	24
2015/6/2-6	IES動力航行2	2	11	102
2015/9/1-2	IES動力航行3	2	1.3	12



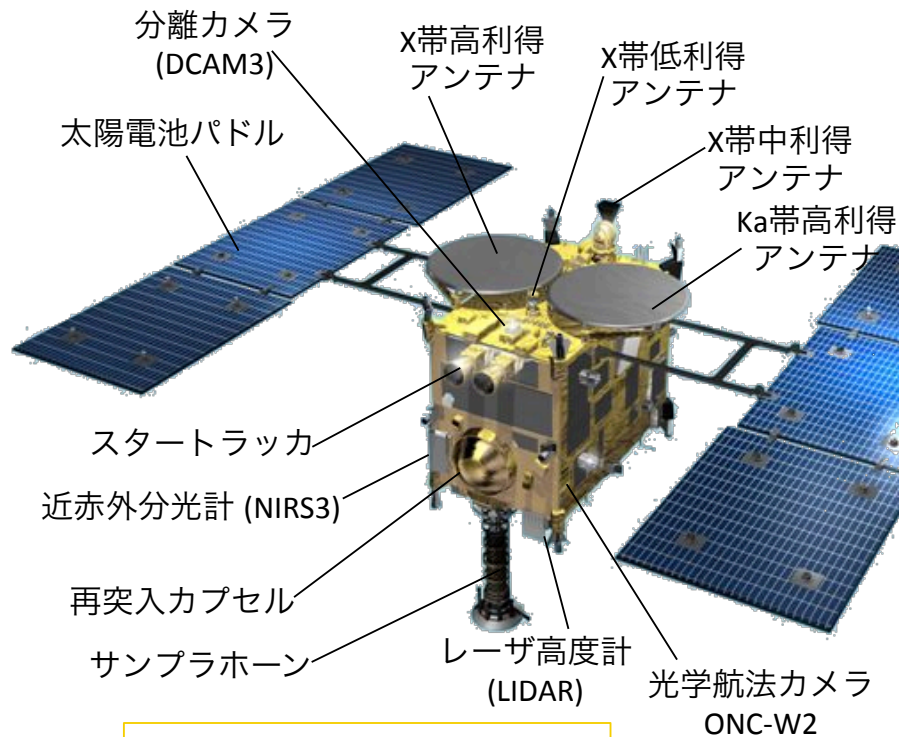
スイングバイにより、飛行速度を**1.6km/sec**増速
 （スイングバイ時に、太陽に対する速度が、30.3km/sから31.9km/sになる）

■イオンエンジン（スイングバイ以前）

(※・・・計画値)

期間	名称	台数	増速 m/s	運転時間
2016/3/22~2016/5/21	第1期イオンエンジン運転	3(一部2台)	127	798 h
2016/11/22~2017/4/26	第2期イオンエンジン運転	3(一部2台)	435	2558
2018年初め頃~到着	第3期イオンエンジン運転	2~3※	400※	2700※

はやぶさ2 探査機



小型着陸機・ローバ

MASCOT



DLRとCNES製作

ミネルバ2



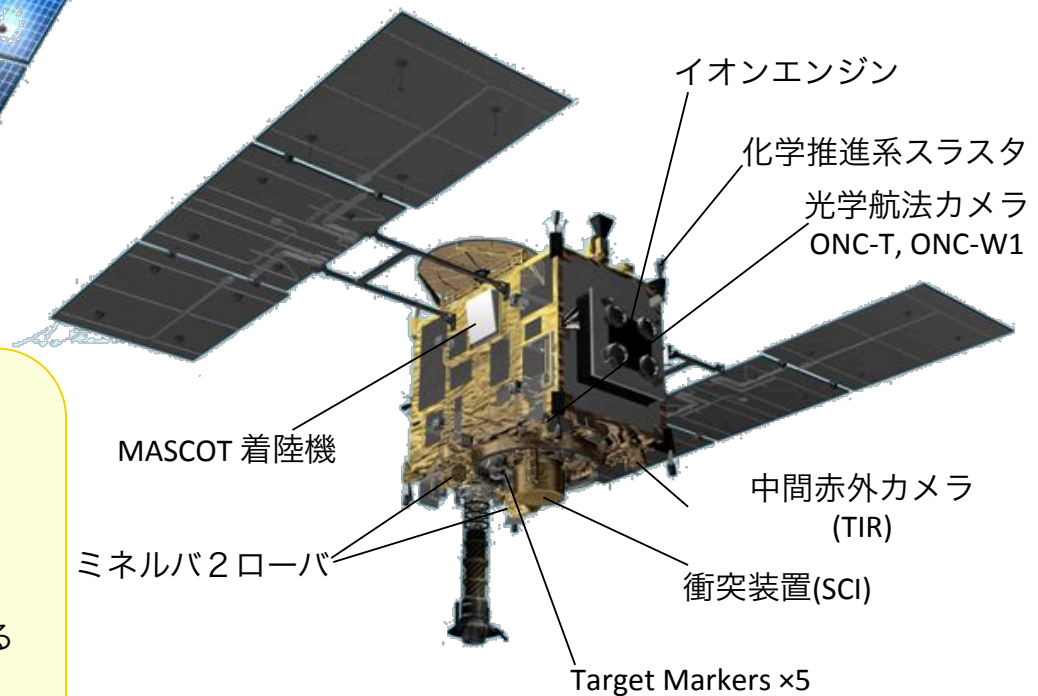
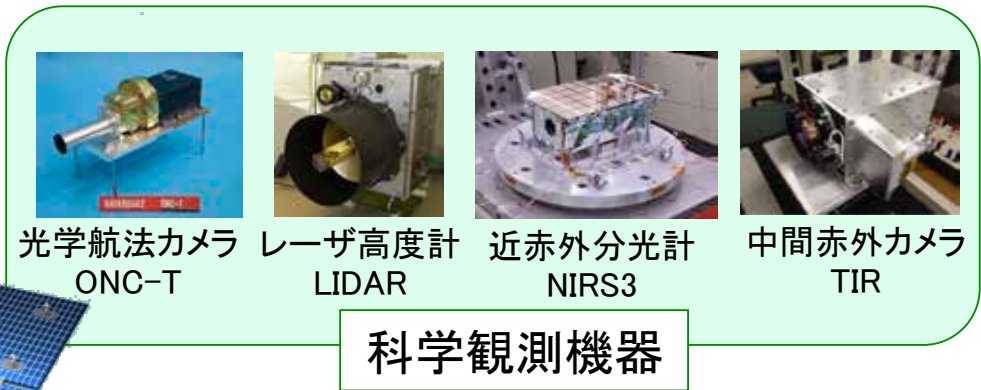
II-1A

II-1B

II-2

II-1: JAXA MINERVA-II チームによる

II-2: 東北大およびミネルバ2 コンソーシアムによる

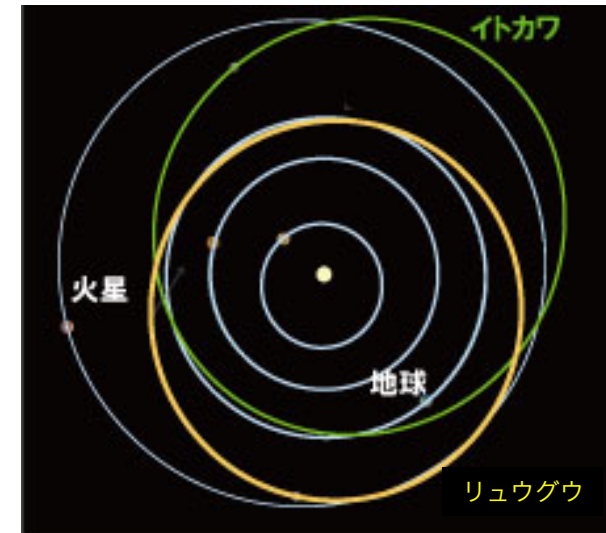


大きさ: 1m×1.6m×1.25m (本体)
重さ : 609kg (燃料込み)

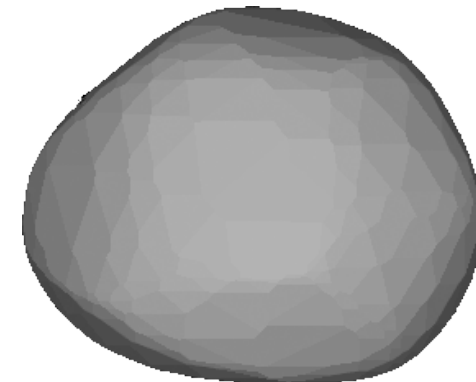
探査対象小惑星の特徴

名称	: Ryugu (リュウグウ)
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
密度・質量	: 現時点では不明であるが、 $0.5\text{--}4.0\text{g/cm}^3$ の密度を仮定している。 質量は $1.7 \times 10^{11}\text{kg} \sim 1.4 \times 10^{12}\text{kg}$ 程度。

小惑星Ryuguの軌道



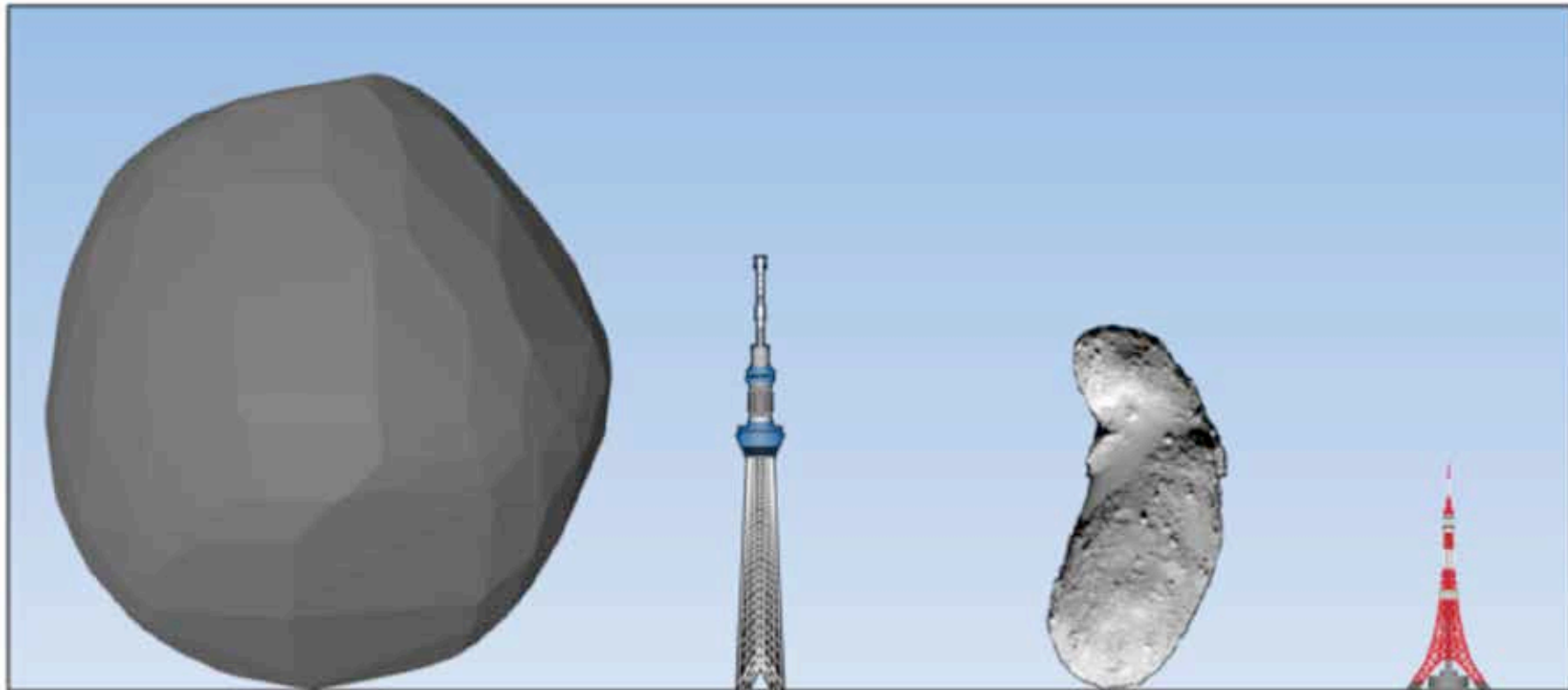
推定された形状



(T. Mueller氏による推定形状を
会津大が可視化したもの)

2015年11月の時点での情報

イトカワとリュウグウの大きさの比較



リュウグウ
約 900m

634m

イトカワ
535m

333m

※ Thomas Mueller 氏による
形状推定データ (2014) より可視化

小惑星探査の構想

検討中

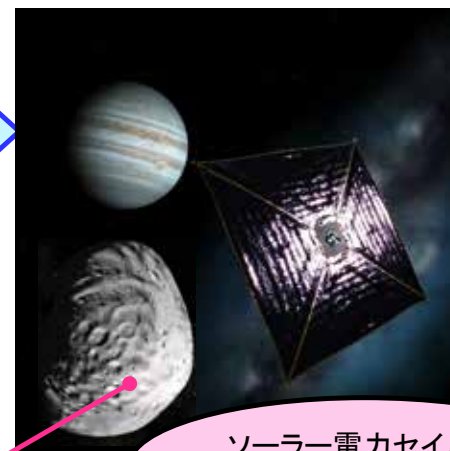
はやぶさ



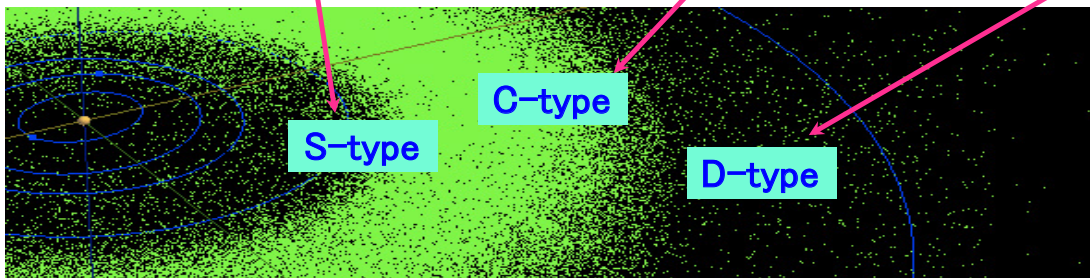
はやぶさ2



次のミッション



ソーラー電力セルによる木星トロヤ群探査



小惑星帯

より始原的な天体へ

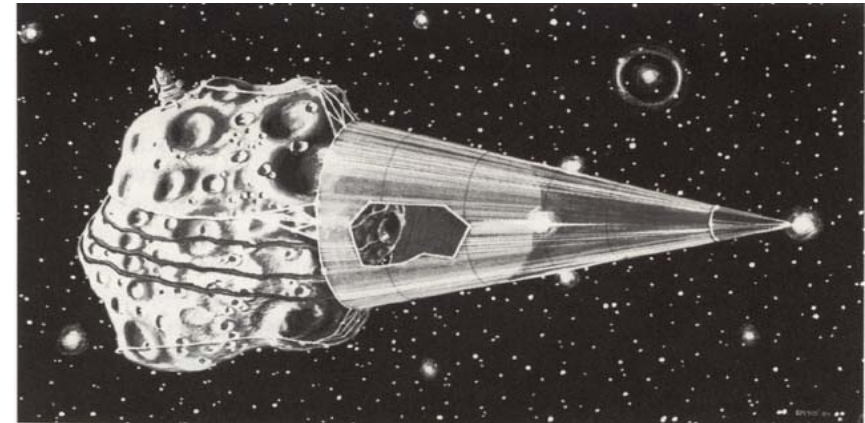
より高度な技術へ

より遠くへ

小惑星の資源利用

資源：

- 鉄・ニッケル
- レアメタル：亜鉛、金、銀、プラチナ、スズ、リン、アンチモン
- 水



小惑星を採掘 (NASAによる)

M型小惑星の例：(216) クレオパトラ

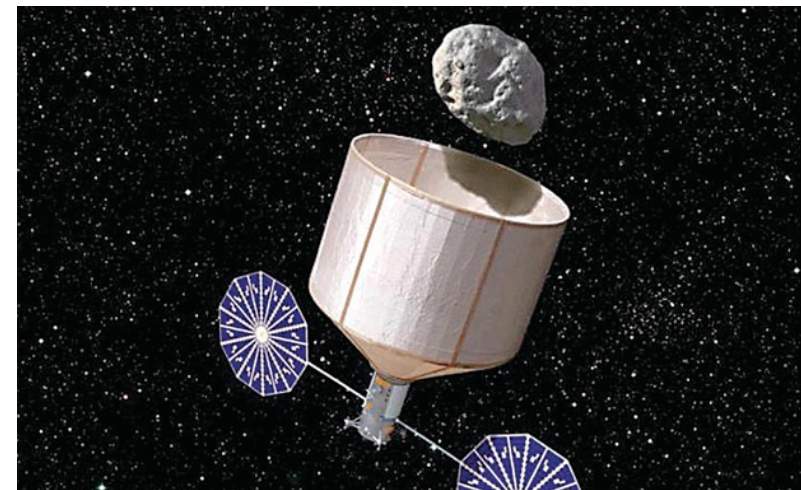
大きさ：217×94×81km

M型小惑星
鉄とニッケルに富む

レーダー観測



NASA



小惑星捕獲ミッション (NASAによる)

天体の地球衝突問題への対応

小惑星や彗星のような天体が地球に衝突すると大きな自然災害となる。
そのような災害を事前に防ぎたい。

⇒ プラネタリー・ディフェンス、スペースガード

例： ■ 2013年2月15日：ロシア・チェリャビンスク隕石



■ 1908年6月30日：ツングースカ大爆発



■ 6550万年前：恐竜を含む生物の大絶滅



国際社会の動き：

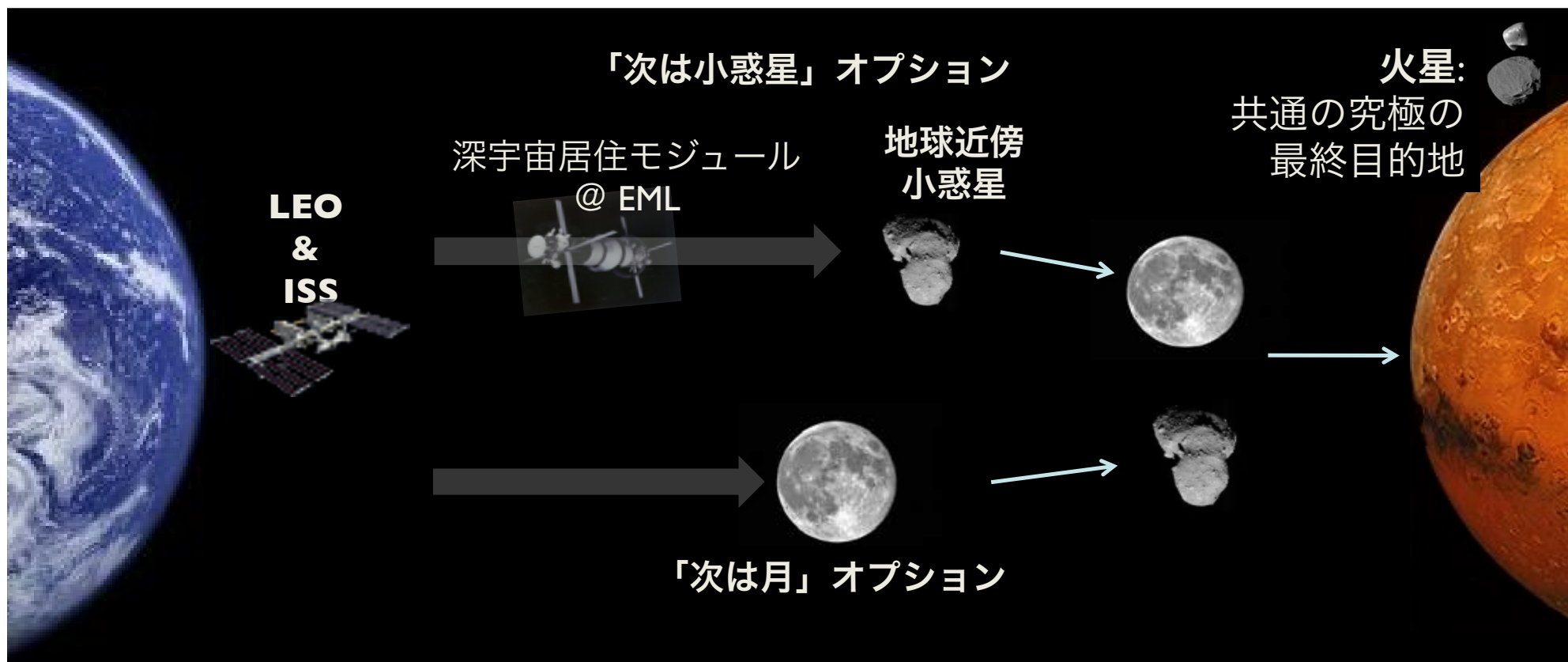
2001年：国連宇宙空間平和利用委員会（COPUOS）で議論を開始

2013年：国連総会にて、次の2つのグループで活動を行うことを決議

- ・ IAWN (International Asteroid Warning Network)
- ・ SMPAG (Space Mission Planning Advisory Group)

有人ミッションの可能性

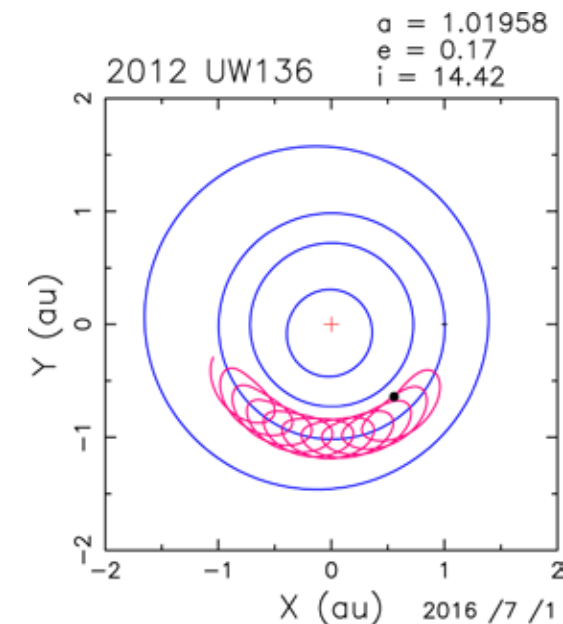
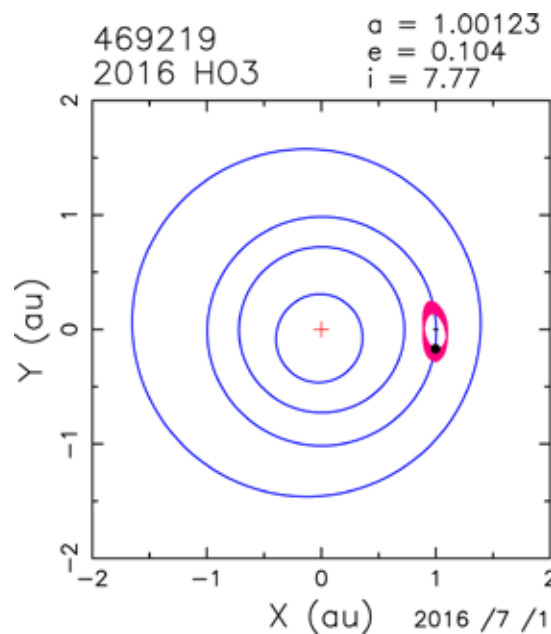
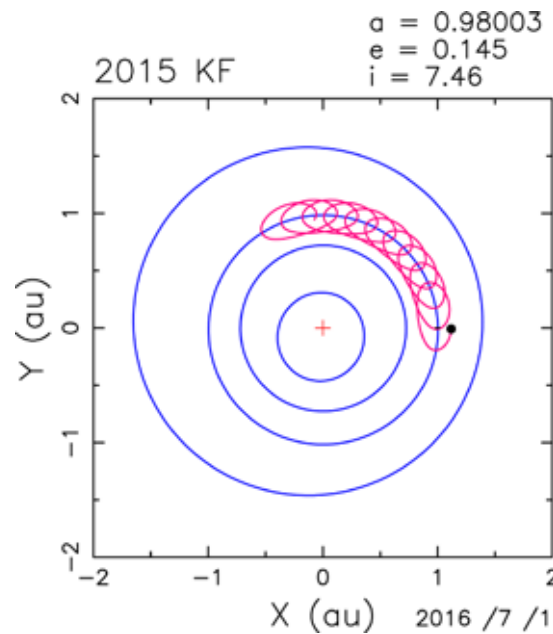
国際宇宙探査ロードマップ(GER : Global Exploration Strategy)の概要



図は「国際宇宙探査ロードマップ」(国際宇宙探査協働グループ作成)掲載図より改変

公転周期がほぼ1年の小惑星

- 公転周期がほぼ1年 = 地球とほぼ同じ公転周期
- 軌道長半径 (a) が0.98auと1.02auの間にある小惑星は200個以上 (au : 天文単位、地球の軌道長半径は1au)
- aが0.997auと1.002auの間にある小惑星は約20個



10年間についての地球に相対的な軌道運動。地球は(1,0)の位置に固定されている。小惑星の軌道運動は2体問題としての計算であり、惑星の摂動は考慮していない。

小天体探査の意義

