

「はやぶさ」から「はやぶさ2」へ

～新たな挑戦の始まり～

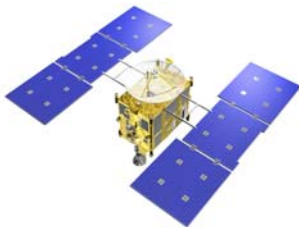
サイエンスカフェ in 静岡
第60話

B-nest静岡市産学交流センター
2012年1月19日

吉川 真 (JAXA)

はやぶさプロジェクトサイエンティスト
はやぶさ2プロジェクトマネージャ

はやぶさ



長い夢の実現

打ち上げ：2003年5月9日
→打ち上がってから7年1ヶ月

探査機の開発：1996年頃から
→すでに14年

そもそものアイディア：1985年頃
→四半世紀



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。

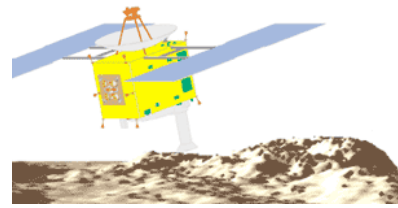
世界初

- 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）

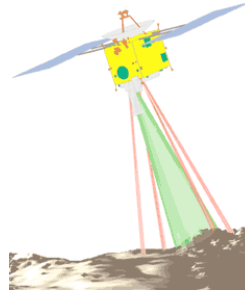
「はやぶさ」 ミッション・シナリオ



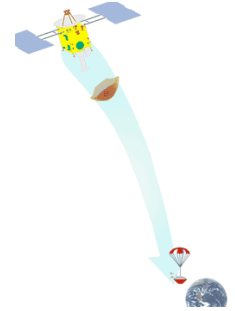
打ち上げ
2003.05.09



表面物質の採集



小惑星到着
2005.09.12



地球帰還

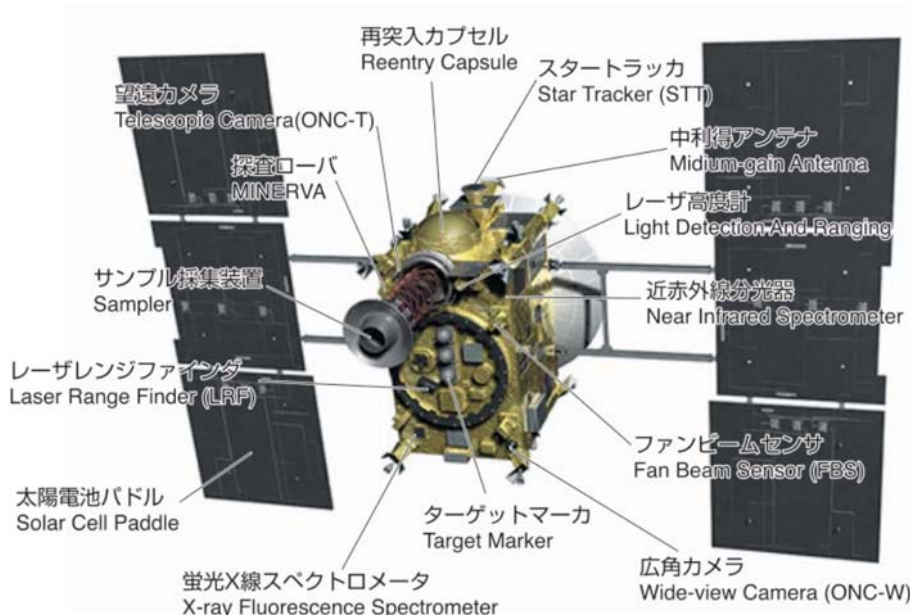
~~2007.06~~
⇒ 2010.06.13



地球スイングバイ
2004.05.19

物質分析へ

はやぶさ探査機



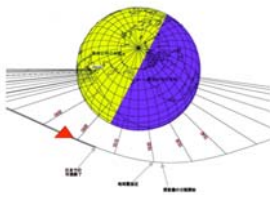
はやぶさの技術

2003.05.09

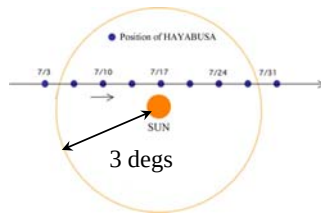


打ち上げ

2004.05.19



地球スイングバイ



合

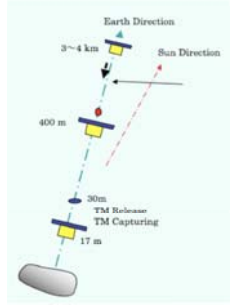


光学航法

小惑星到着 2005.09.12



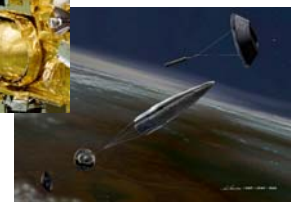
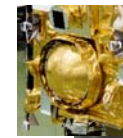
イトカワ
接近運用



タッチダウン



再突入カプセル



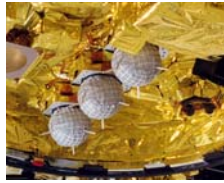
2010.06.13

5

新しい技術



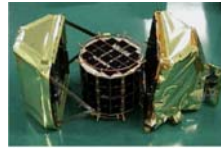
イオンエンジン



ターゲットマーカ

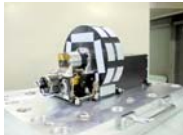


サンプラー

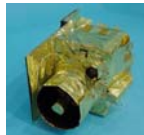


ミネルバ

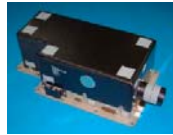
観測装置



AMICA



LIDAR



NIRS



XRS

イオンエンジン



- ・キセノンをプラズマ化して、高速で噴射。
- ・推力は小さいが長時間作動させる。
- ・エネルギー源は太陽。



13

ターゲットマーカ

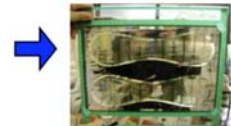


フラッシュをあてない時



フラッシュをあてた時

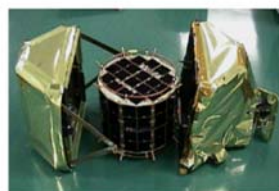
88万人の署名
入りシート



14

ロボット着陸機 (MINERVA)

- 超小型ローバ (600g、10cm)
- ホップして移動
- 自律型
- カメラ3台を搭載
- 探査機本体と通信



15

サンプル収集装置



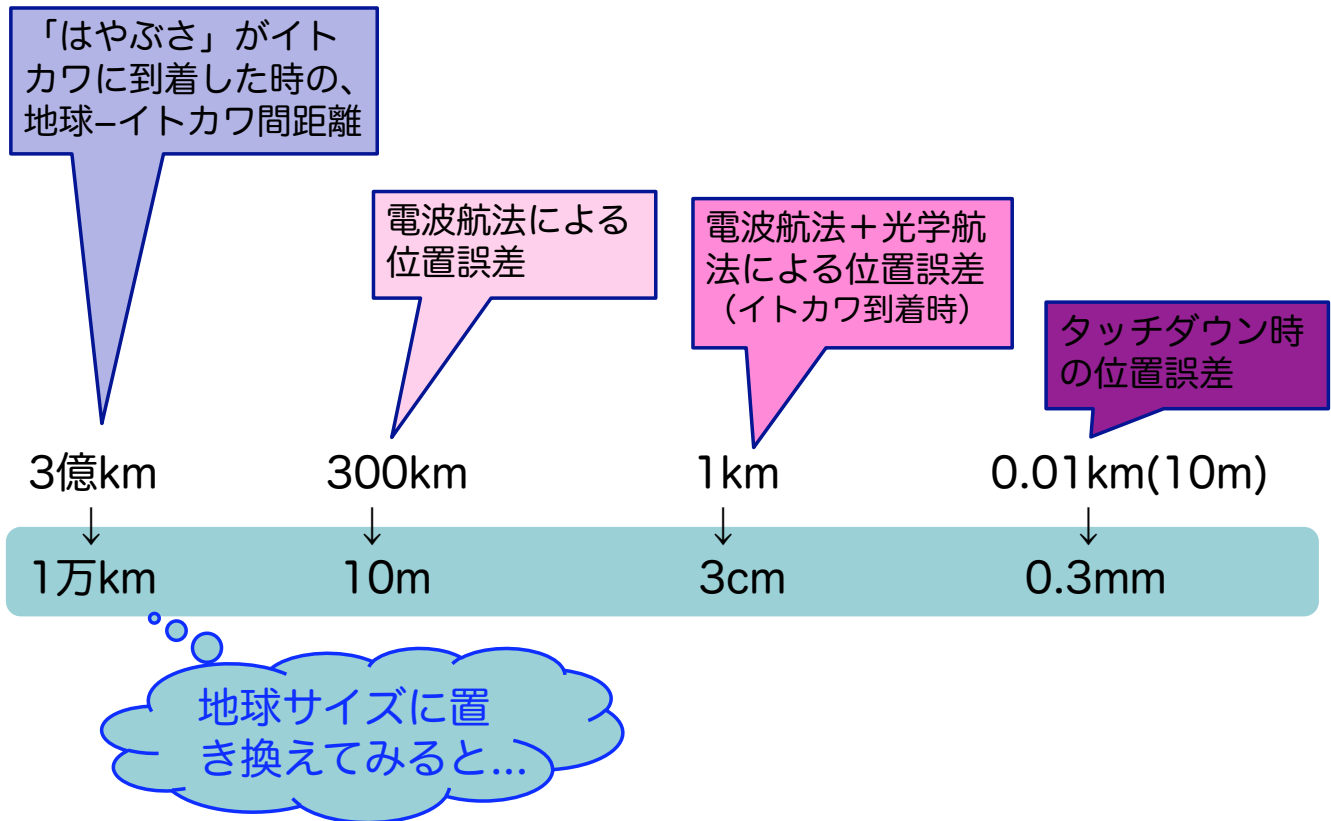
上部金属ホーンと射出装置



下部柔軟ホーンと伸展マスト

6

航法誘導の精度



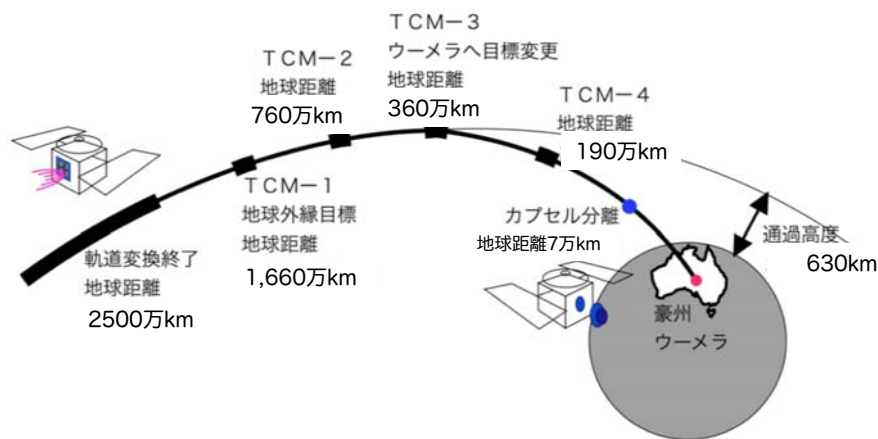
7

「はやぶさ」が経験した主な困難と解決策

- 2005年8月・10月：姿勢制御装置（リアクションホイール）が相次いで故障（3台中2台が使用不能に）
→ 化学エンジンで姿勢制御
- 2005年11月：燃料漏れ、姿勢制御不能、通信途絶
→ 通信が復活するのを待つ（7週間後に復活）
- 2006年1月：化学エンジン使用不能
→ 姿勢制御は、1つのリアクションホイールとキセノンガスの噴射と太陽光の圧力で
- 2006年1月：バッテリー故障（11のセルのうち4つが故障）
→ 約半年かけて慎重にバッテリーの充電作業をする（→ カプセルのふた閉めに成功）
- 2009年11月：イオンエンジン劣化で非常停止
→ 裏技的回路が仕組まれており、2台のイオンエンジンの組み合わせでイオンエンジンを復活

8

地球帰還に向けた軌道修正

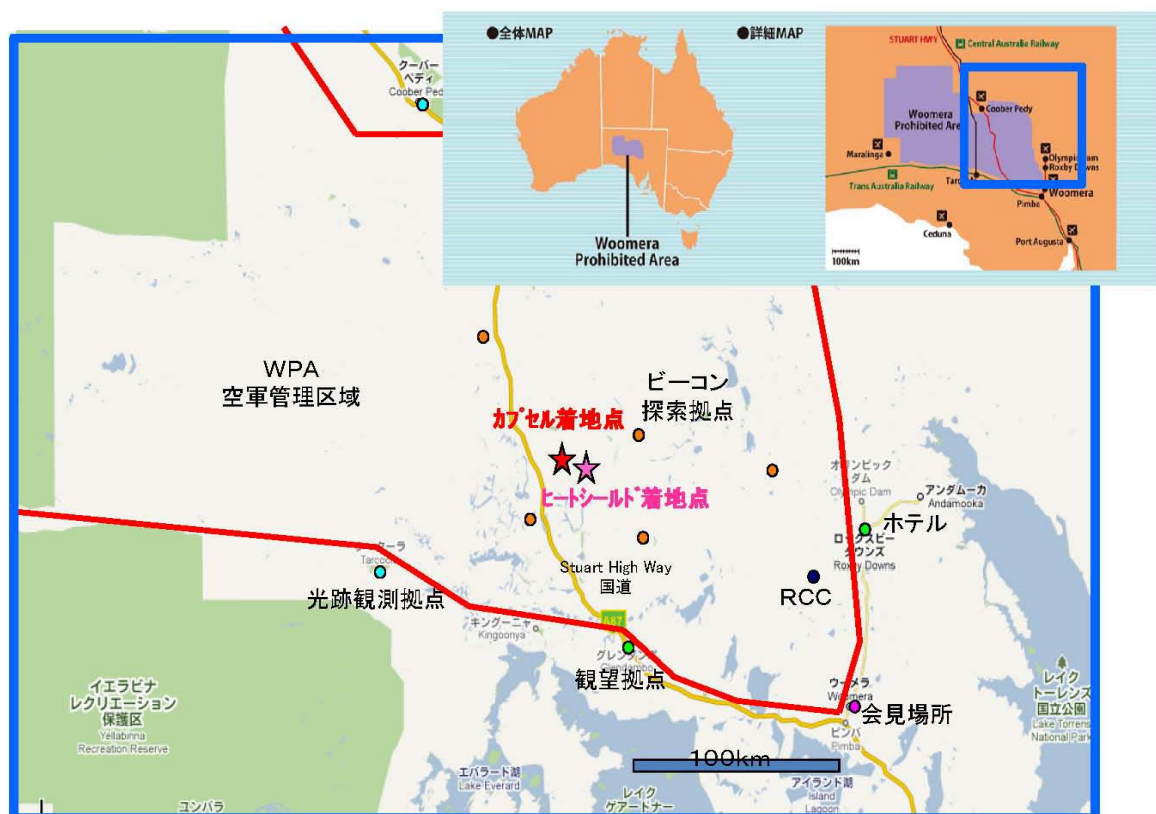


TCM : Trajectory Correction Maneuver

2010年4月	6日	TCM-0終了	地球外縁部への誘導
5月	1-4日	TCM-1終了	地球外縁部への誘導
5月23-27日		TCM-2	地球外縁部への誘導
6月	3-5日	TCM-3	豪州への誘導 (地球リム→着陸想定地域へ)
6月	9日	TCM-4	豪州への誘導 (着陸想定地域への詳細誘導)

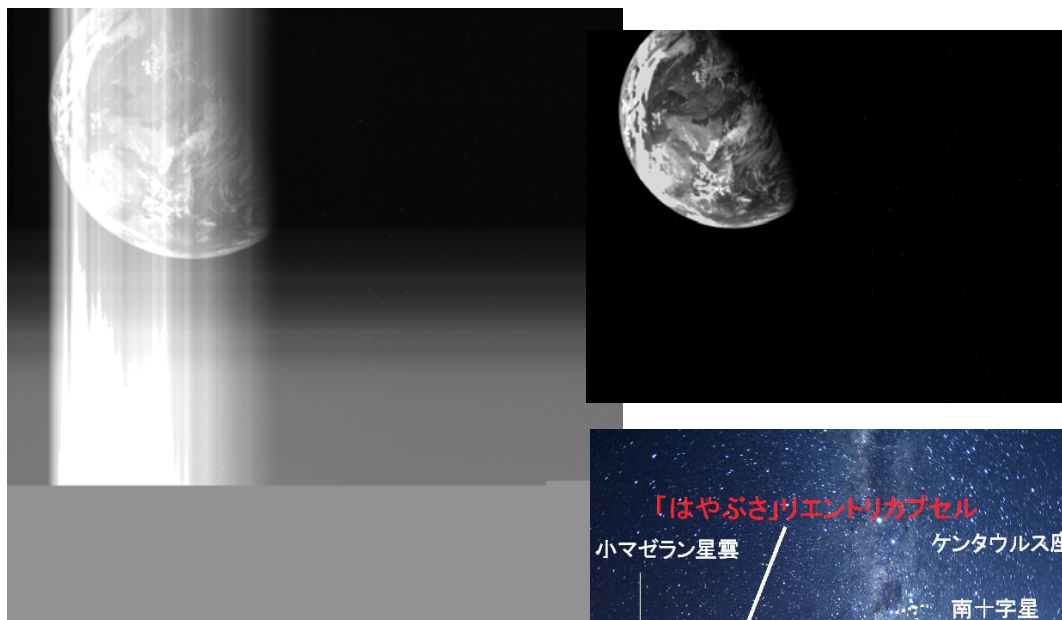
9

カプセル回収地点



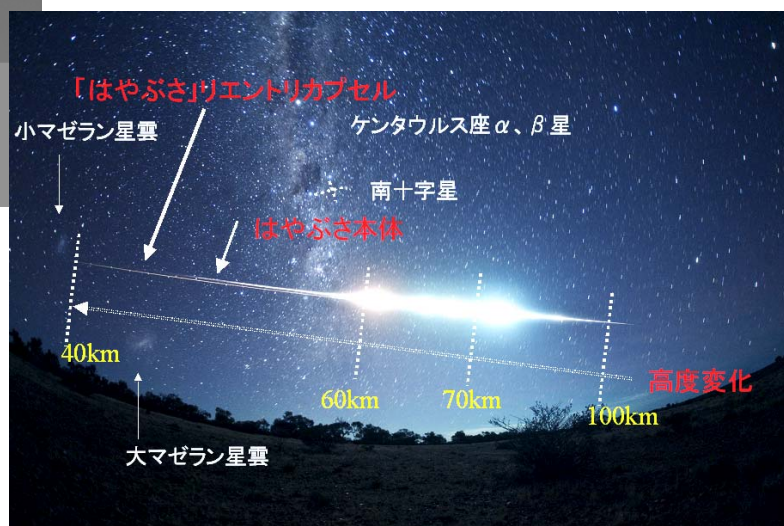
図「はやぶさ」試料回収カプセル着地点

10



「はやぶさ」が撮影した最後の写真
&
最後の通信

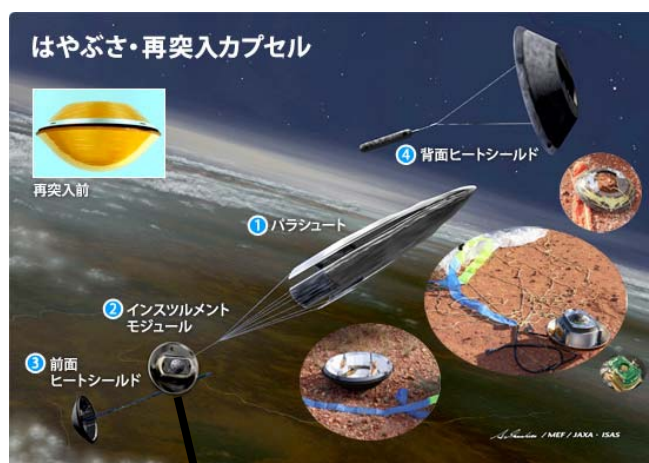
2010年6月13日



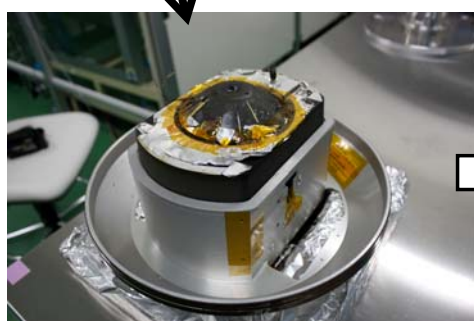
流星となった「はやぶさ」 (撮影：大西浩次氏)

11

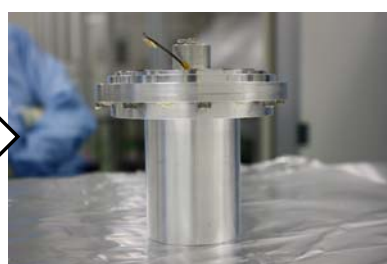
再突入カプセル



着地したカプセル



インストルメント・モジュール



コンテナ



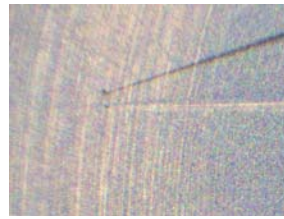
キャッチャー

12

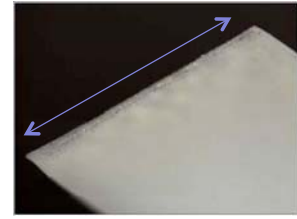
イトカワからの物質確認



サンプルキャッチャーの内部

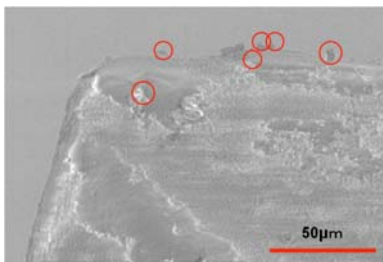


細い針で拾い上げる

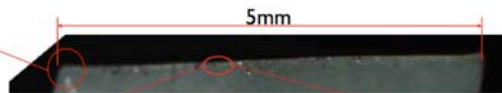


幅5mmのヘラで掃き集める

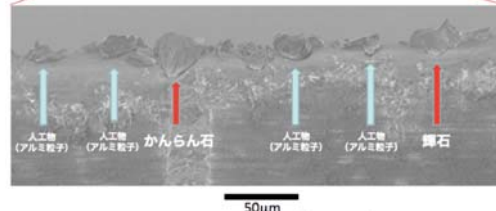
電子顕微鏡による確認



岩石物質の確認
(2010.10.08)



2. 赤で囲んだ部分の電子顕微鏡での拡大写真

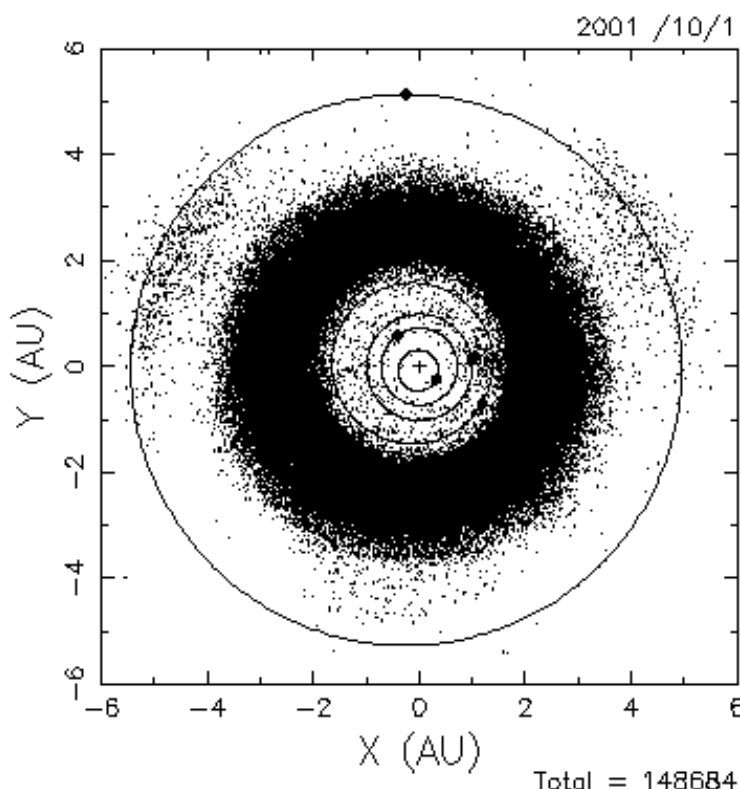


イトカワ物質の確認
(2010.11.16)



2011年8月26日号
→2011年の10大成果
に選ばれる

小惑星の分布と数



2011年12月の時点で、
発見され軌道が求められ
ている小惑星：

約57.3万個

確定番号付き：

約31万個

地球軌道に接近するもの：

約8500個

探査機が見た小惑星

マチルダ (Mathilde)



66×48×46 km

ガスプラ
(Gaspera)



18×11×9 km

イダ (Ida)



60×25×19 km



エロス (Eros)

38×15×14 km

シュテインス
(Steins)



直径約4.6 km



ルテティア
(Lutetia)

約130 km



イトカワ (Itokawa)

0.535×0.294×0.209 km

15

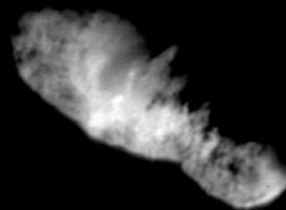
探査機が見た彗星

Halley彗星



14.4×7.4×7.4 km

Borrelly彗星



4.0×1.58 km

Tempel 1彗星



7.6×4.9 km

Wilt 2 彗星



5.4×3.8×3.0 km

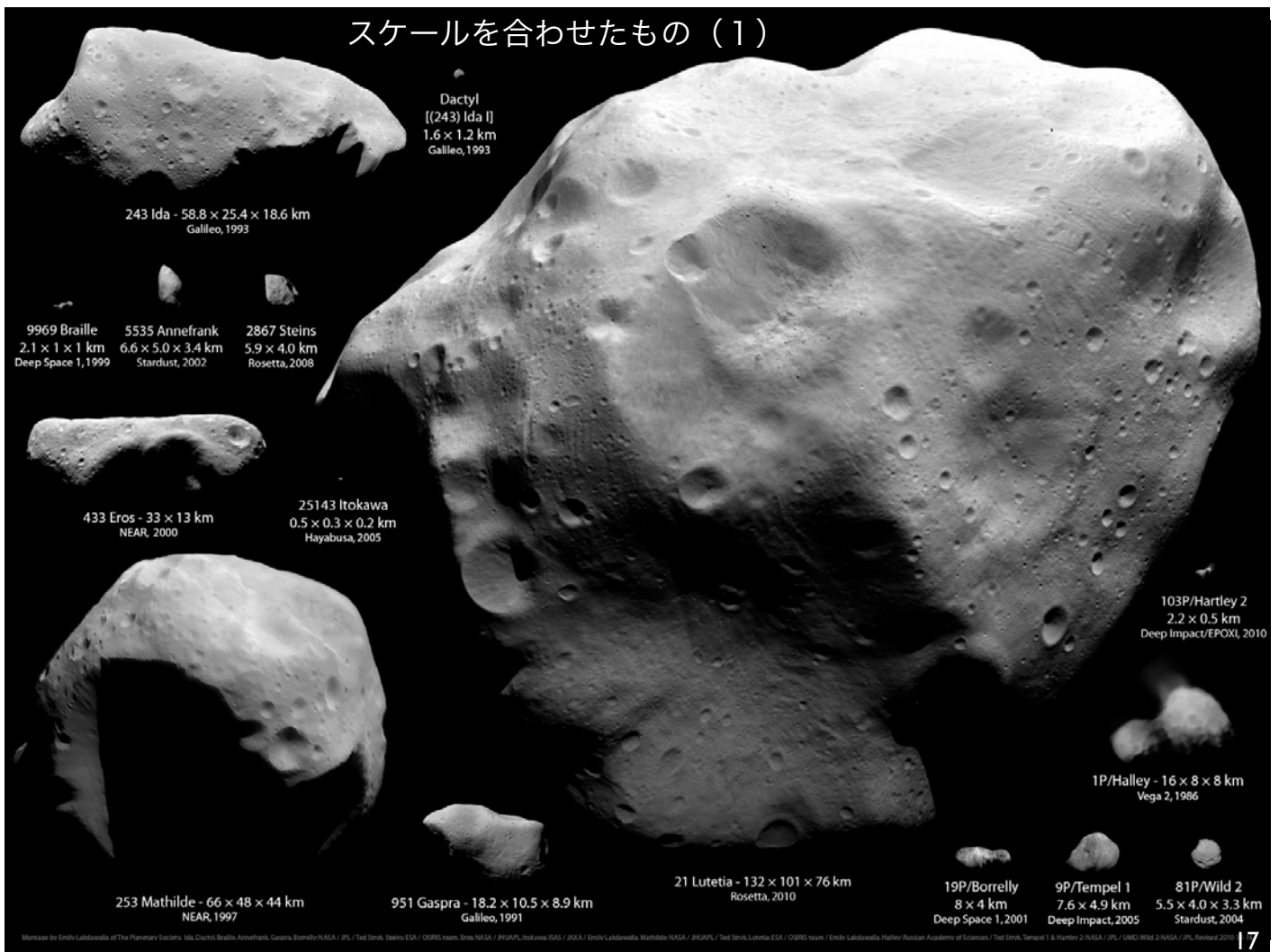
Hartley 2彗星



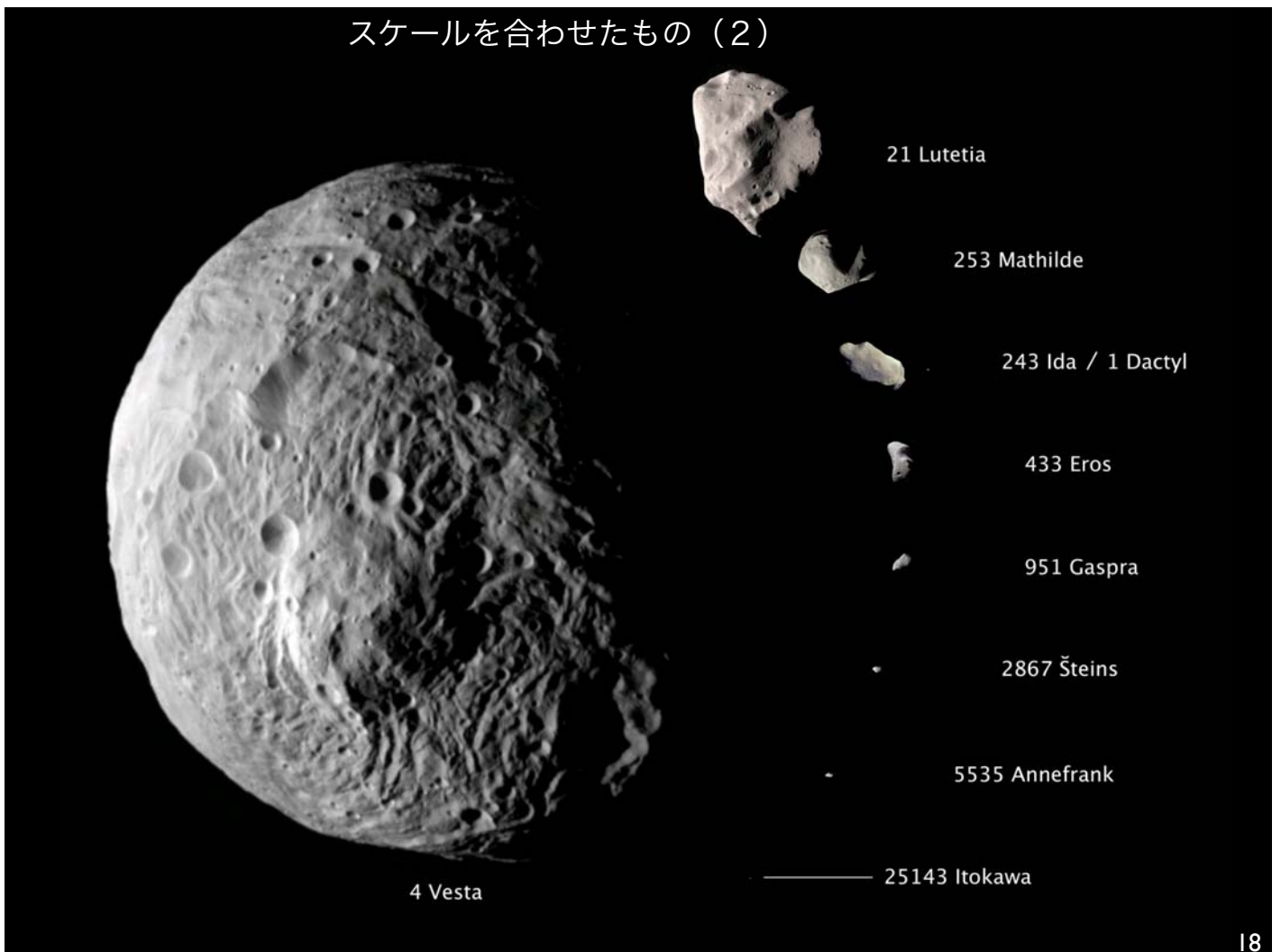
1 km程度

16

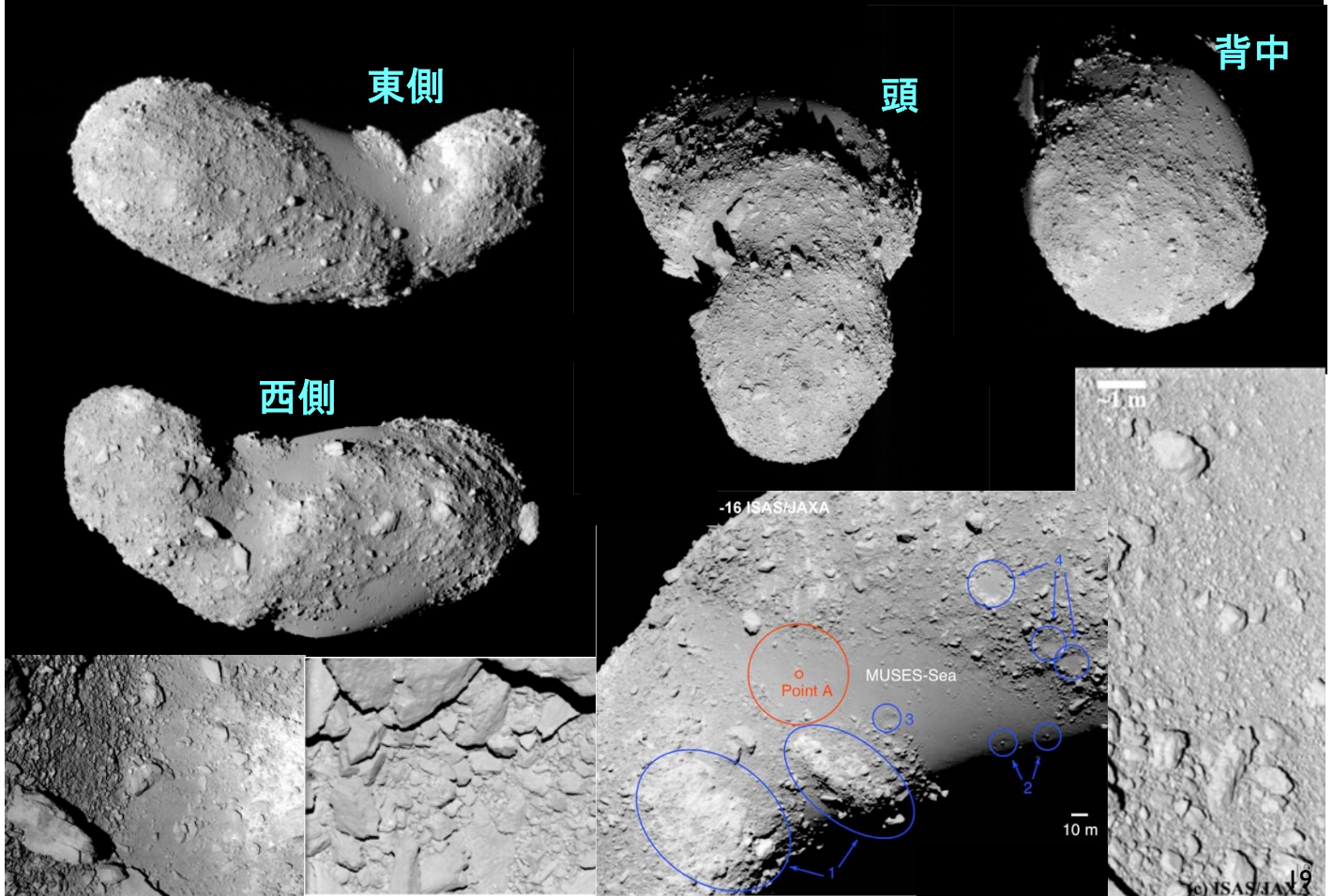
スケールを合わせたもの（１）



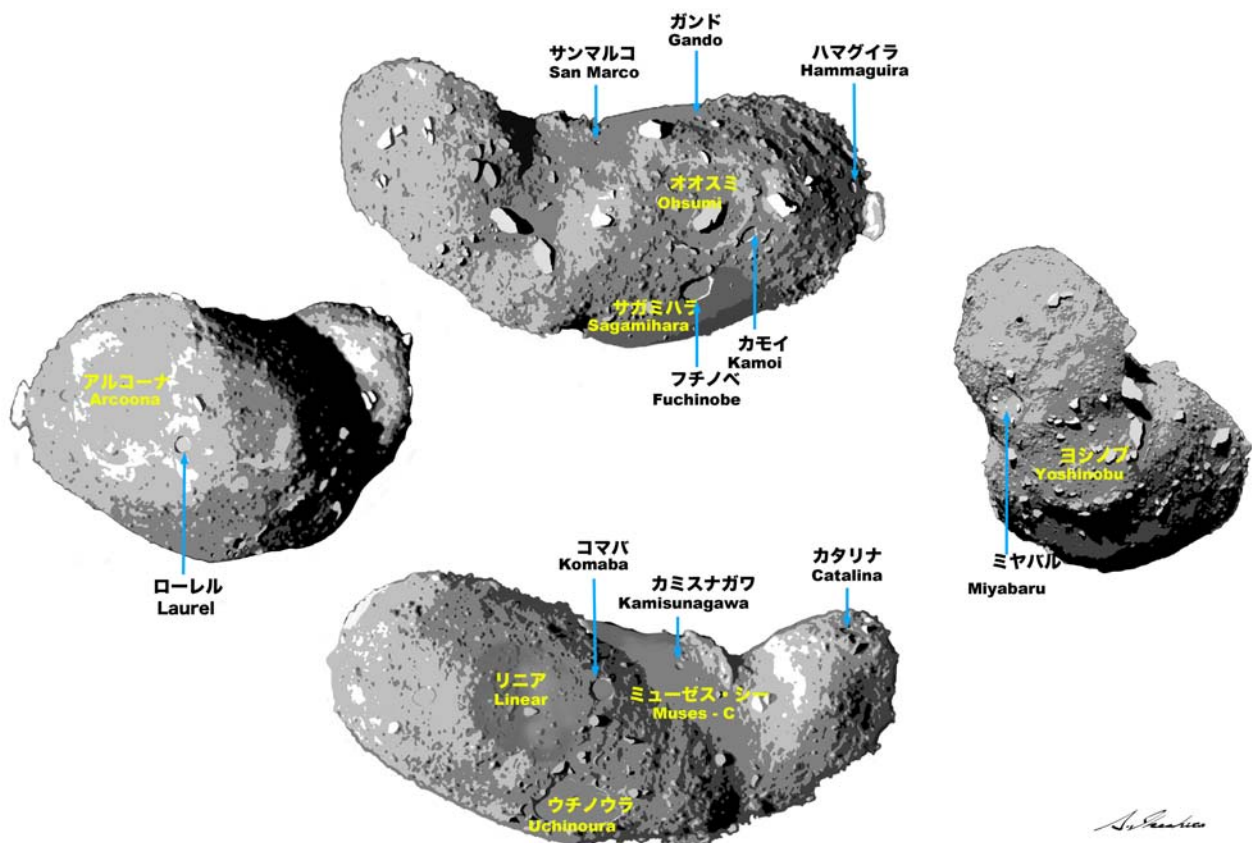
スケールを合わせたもの（２）



これがイトカワ

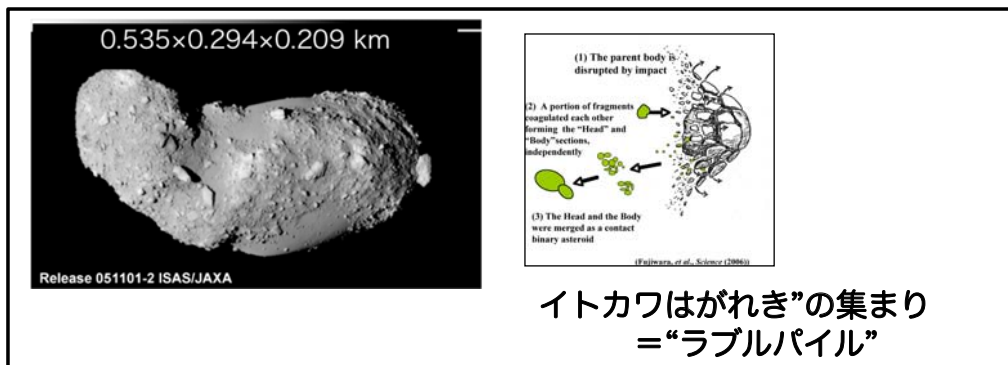


イトカワ表面に付けられた名前



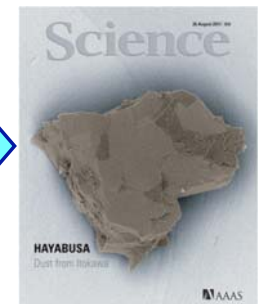
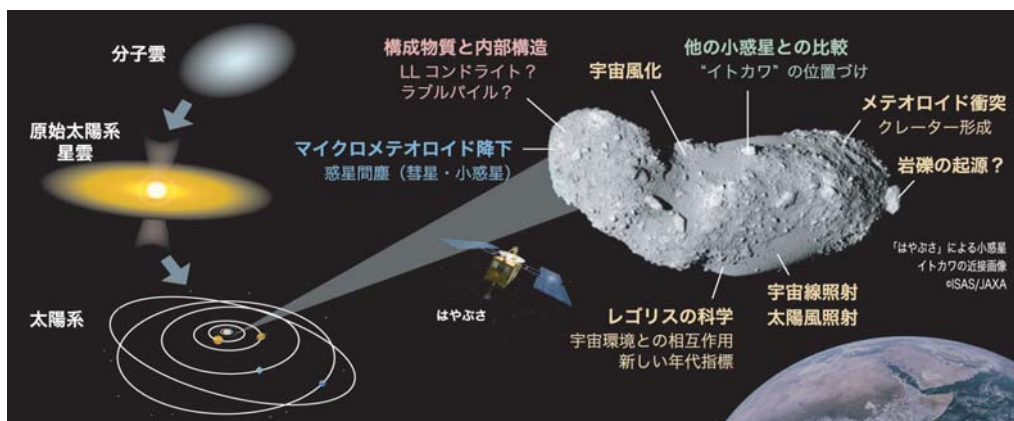
「はやぶさ」の科学的成果

リモセン：微小NEO（地球接近小惑星）の概念が変わった！



2006年6月2日号

物質分析：太陽系の初期の状況や天体形成・進化への手がかり



2011年8月26日号

→2011年の10大成果
に選ばれる

21

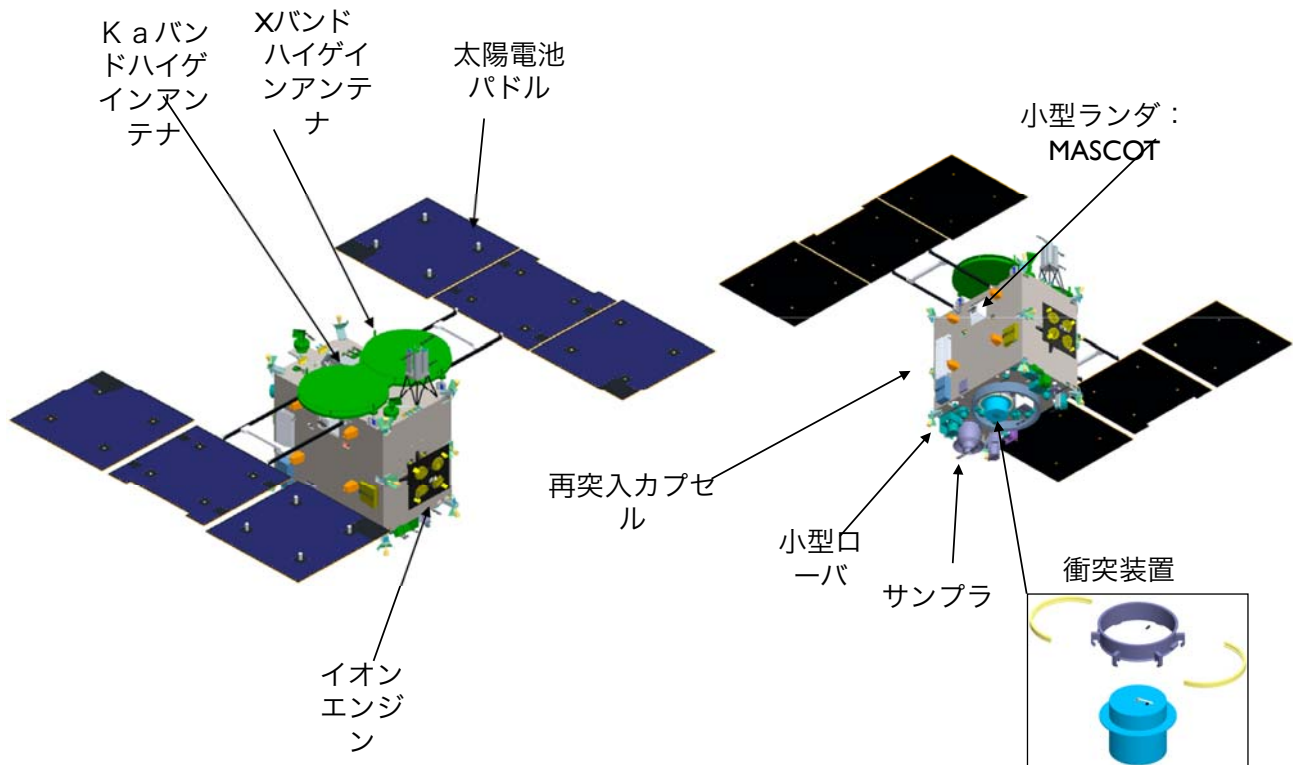
参考：プロジェクト・マネジメント

- ・「はやぶさ」は、“宇宙科学研究所”のプロジェクト（今は、JAXA 宇宙科学研究所）
- ・やりたい人が集まってチームができた
- ・モチベーションは高い←特に「世界初」を目指していた
- ・さらに、プロマネ（川口淳一郎先生）のキャラクターの影響大
NASAには負けたくない
徹底的な最適化
徹底的な慎重さ
徹底的なあきらめの悪さ
プラスα

神頼み
ポットのお湯

民間企業
との連携

「はやぶさ2」



23

「はやぶさ2」が目指すこと

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

地球、海、生命の原材料物質は、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）からのリターン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確立

「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。

※衝突装置による人工クレーター形成：「非破壊から破壊へ」

3. 探査としての意義

「人類の活動領域を広げる」－太陽系内の自在な移動

地球から太陽系天体を往復してくる技術を確立し、さらにラグランジュ点利用などの新たな試みも行うことで、人類の活動領域を広げる。また、スペースガード、資源利用、有人探査のターゲット等の観点から小天体を理解する。

24

「はやぶさ2」の現在の提案

打上げ

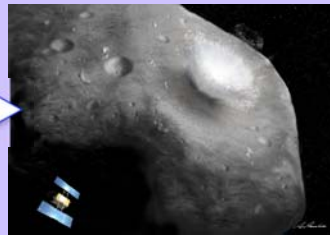
2014年7月ないし12月
(2015年6月、12月)



探査機によるリモートセンシング観測では、光学カメラ、赤外線分光計、LIDAR（距離測定）などの機器を用いて、小惑星の特性を調べる。その後小惑星の近接観測、小型ローバの投下、表面試料の採取を行う。

2018年6月

新しいミッションを追加



衝突体の衝突による小惑星表面地形の変化や形成された人工クレーターなどを探査機が観測することで、小惑星の地下物質、内部構造、再集積過程に関する新たな知見を得る。安全が確認できれば、人工クレーター近傍での試料採取にも挑む。



2019年
12月

2020年12月

地球帰還

探査機が地球に戻り、カプセルを地上で回収する。

サンプル分析

25

「はやぶさ」と「はやぶさ2」の比較

	はやぶさ (MUSES-C)	はやぶさ2(仮称) (?)
探査天体	S型小惑星(イトカワ) 地球接近小惑星、サイズ:535m	C型小惑星(1999 JU3) 地球接近小惑星、サイズ:約900m
技術	新しい技術の実証 ・イオンエンジン ・自律航法 ・ 微小重力下での試料採取 ・リ ントリカプセル ・微小連続推進 +地球スイングバイ ・その他	技術の成熟+新しい技術 ・「はやぶさ」の技術をより確実に ・新規技術: 衝突装置 Ka帯通信系
科学観測装置	・近赤外分光計 ・蛍光X線分光計 ・多バンド可視カメラ ・レーザー高度計	・ 近赤外分光計 : 観測帯域を長波長 側に変更。水の検出。 ・ 中間赤外カメラ : 熱慣性計測。 ・多バンド可視カメラ ・レーザー高度計
その他の機器	・ローバ → ミネルバ	・ミネルバ2(仮称)、ランダーなど
ミッション期間	2003年~2010年	2014年~2020年

※赤字が新規開発機器

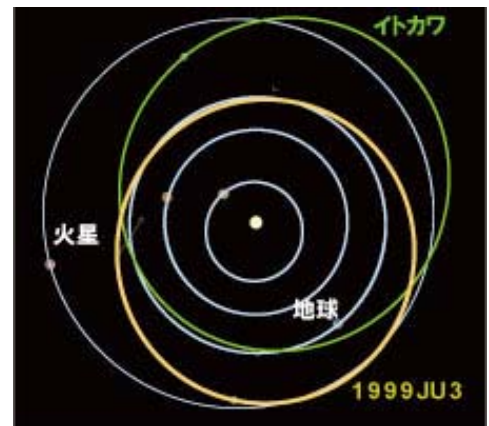
26

探査対象天体：1999 JU3

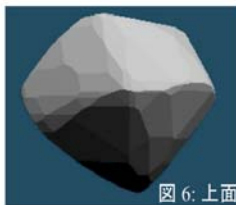
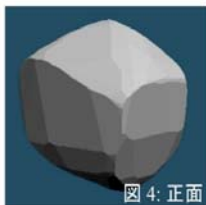
観測キャンペーン（2007、2008）により得られた物理情報

自転周期: 0.3178day (～7.6 h)
 自転軸の方向: $(l, b) = (331, 20), (73, -62)$
川上モデル Muellerモデル
 軸比 = 1.3 : 1.1 : 1.0
 大きさ: 0.922 ± 0.048 km
 アルベド: 0.063 ± 0.006
 等級等: $H=18.82 \pm 0.021, G=0.110 \pm 0.007$
 タイプ: Cg

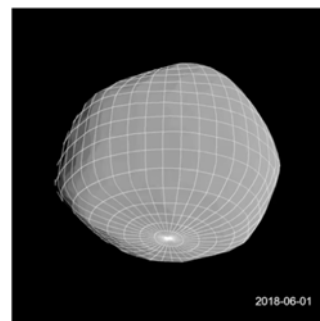
小惑星1999 JU3の軌道



推定された形状



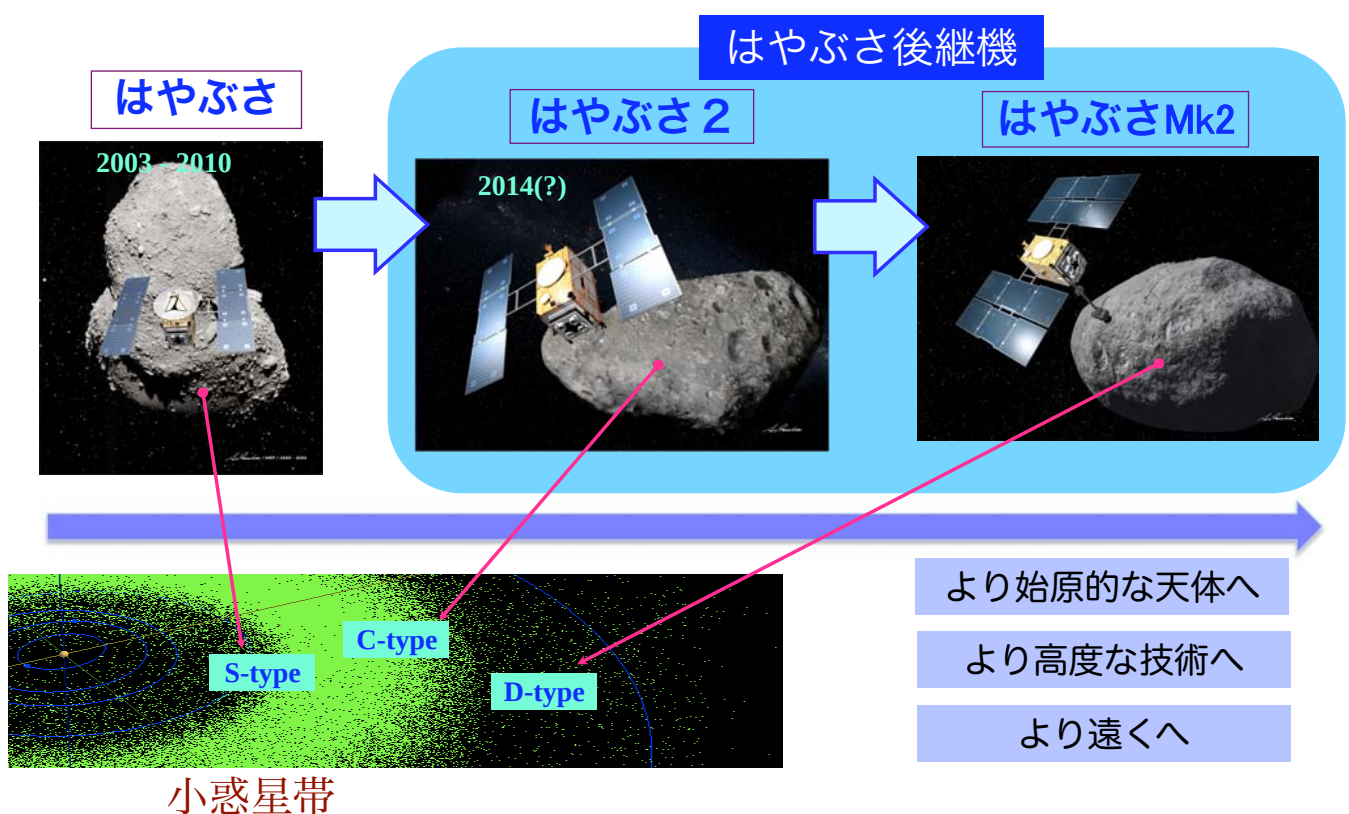
(川上らによる)



(Muellerらによる。動画は会津大による)

27

始原天体のプログラムの探査の構想



28

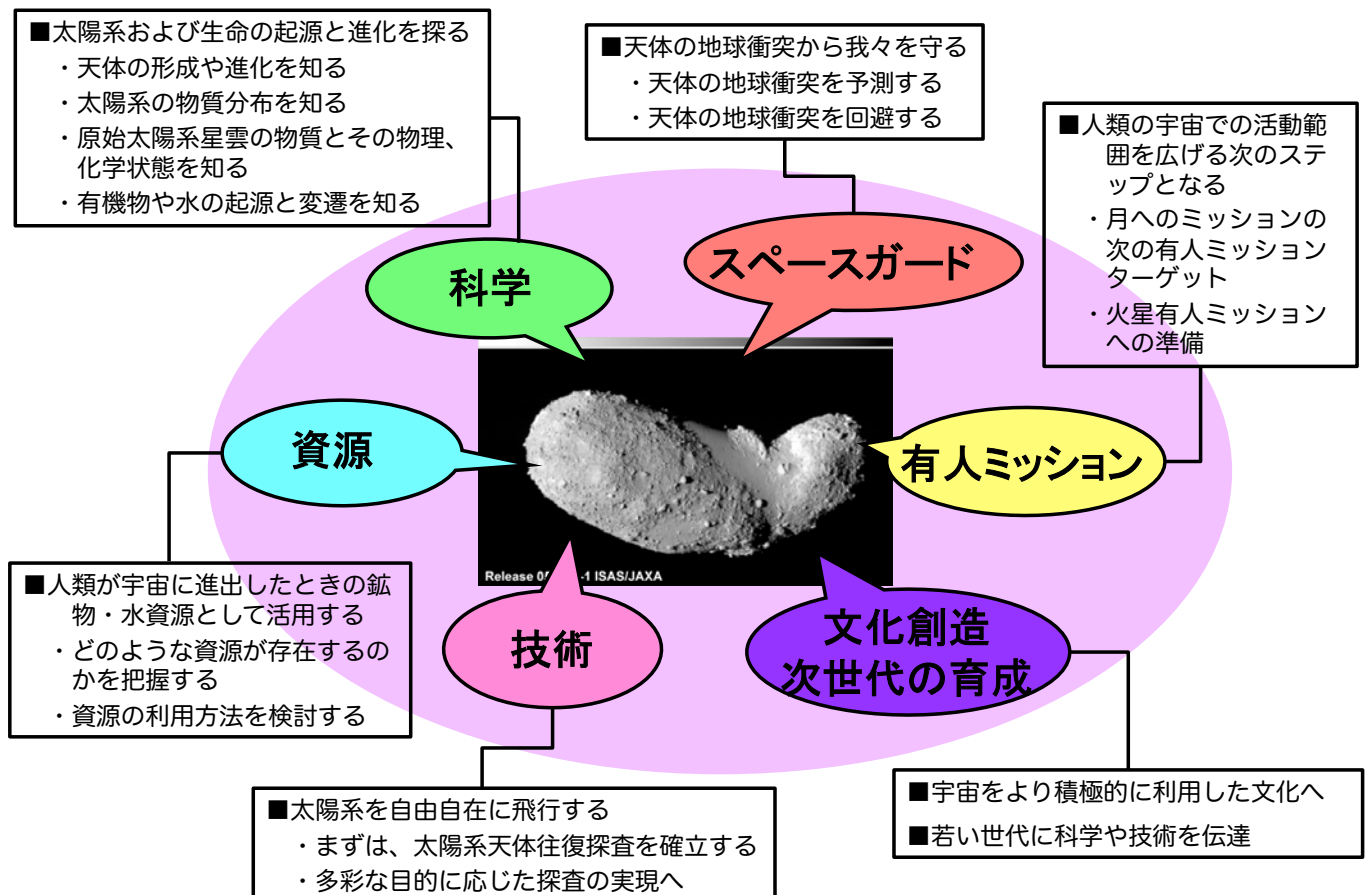
世界の太陽系小天体探査

	1980	1990	2000	2010
フライバイ	1986 <ハレー彗星> ベガ1号・2号、さきがけ、すいせい、 ジオット、ICE 1985 <ジャコビニ・ツィナー彗星> ICE	1991 <ガスプラ>ガリレオ 1992 <グリグ・シェレル彗星> ジオット 1993 <イダ>ガリレオ 1996 <マチルダ> ニア・シューメイカー 1999 <ブレイク> ディープ・スペース 1	2001 <ボレリー彗星> ディープ・スペース 1 2002 <アンネフランク> スター・ダスト 2008 <シュテインス> ロゼッタ 2010 <ルティア> ロゼッタ 2004 <ビルト 2 彗星> スター・ダスト 2005 <テンペル 1 彗星> ディープ・インパクト	2015 <冥王星> ニューホライズ ズ 2011 <テンペル 1 > NExT 2010 <ハートレイ 2>EPOXI 2019 <1999 JU3> はやぶさ 2 2014 <チュルモフ・ ゲラシメンコ> ロゼッタ 2011 <ベスタ> 2015 <セレス> ドーン 2018 <1999 JU3> はやぶさ 2
衝突				
ランデブー・ 着陸			2000 <エロス> ニア・シューメイカー 2005 <イトカワ>はやぶ さ (2010年帰還) 2004 <ビルト 2 彗星> スター・ダスト (2006年帰還)	
サンプル リターン				

* はやぶさ 2 以外は、過去・現在に宇宙で運用されている探査プロジェクトのみを記載。

29

小天体探査の意義



30

太陽系大航海時代に突入か？

15世紀～17世紀：大航海時代

ヨーロッパ→インド・アジア・アメリカ



現在の日本 = 太陽系への航海

月：かぐや、SELENE2

小惑星：はやぶさ、
はやぶさ2

水星：BepiColombo

金星：あかつき

火星：のぞみ、MELOS

木星：(EJSM)

更なる挑戦：イカロス、中型ソーラー電力セール

※アンダーラインを引いたものはすでに打ち上げられたもの

さきがけ、
すいせい、
ひてん

31

月・惑星を調べることは、地球を知ること

- ・ いろいろな階層（大きさ）の天体を知る
- ・ 天体の誕生（起源）と進化を知る
- ・ 天体における気象現象を解明する
- ・ 天体における磁場に関連した現象を解明する
- ・ 地球外生命を探す
- ・ 物質（鉱物、有機物、水）の起源を探る



- ・ 地球の起源、進化を知る
- ・ 地球の環境を知る
- ・ 生命について知る

さらに...

- ・ 人類の活動の場を拡大する（無人＋有人）
- ・ 宇宙を利用する（基地、資源）
- ・ 地球を守る（スペースガード）
- ・ 最先端技術への挑戦の場
- ・ “夢”の提供

32