
「はやぶさ」の小惑星イトカワへの到着について

2005年9月14日

宇宙航空研究開発機構

宇宙科学研究本部

教授：川口淳一郎

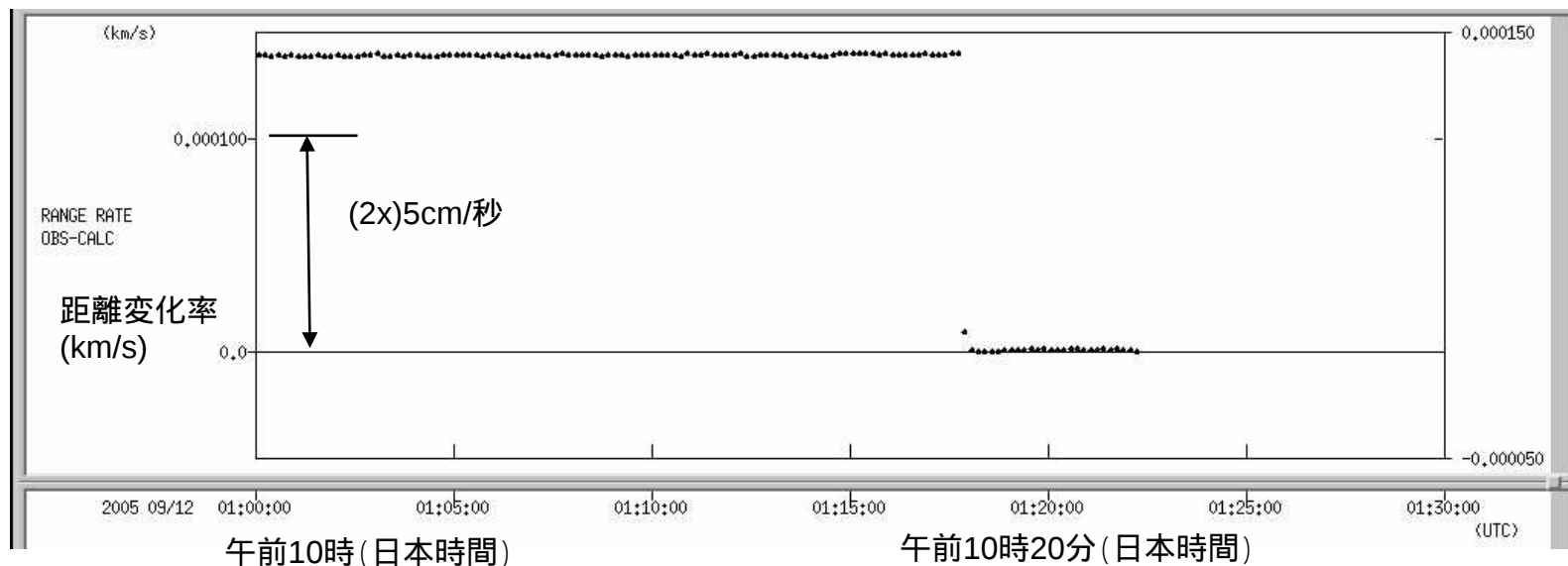
はやぶさの飛行状況

- 先進的な惑星探査技術の実証を目的に、小惑星イトカワ探査を目指す、第20号科学衛星「はやぶさ」は、平成15年5月に打ち上げられて以来、平成16年5月の地球スウィングバイを経て、順調に飛行を続けて来たところである。
- 9月12日10時(日本時間)、「はやぶさ」は、搭載している化学推進器による秒速7cmの減速噴射を行い、イトカワから約20キロメートルの距離に静止(ランデブー)した。

目標天体に到着するという「最大の関門」を突破。
光学複合航法は完璧に達成できた。
惑星探査における国際水準に到達。

静止化の軌道修正結果(1)

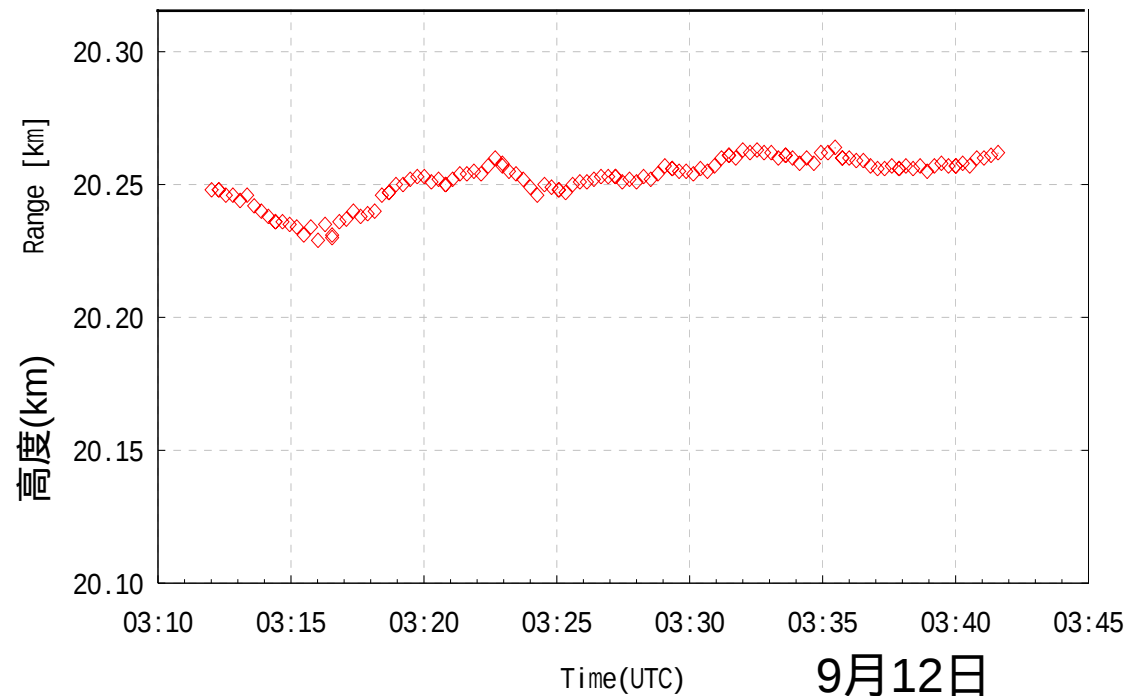
- 下図は、JAXA 臼田深宇宙局にて取得されたドプラーデータで、イトカワと「はやぶさ」探査機の距離変化率の差を表したものである。途中でプロット点が一段階落ちてゼロ(0.25mm/sec)に到達し、静止したことがわかる。(表示は往復分で2倍の値になる。)



静止化軌道操作におけるドプラー計測値

静止化の軌道修正結果(2)

- 下図はレーザ高度計の計測値を示したものである。「はやぶさ」はイトカワに対してほとんど静止しているが、高度計測値は自転運動と地形にしたがって変動する。静止距離(20km)は軌道要素に基づいて設定されたが、実際には誤差がある。これらの誤差、変動要素を含んではいるものの、この計測結果から、およそ20kmに維持されていると判断できる。



「はやぶさ」プロジェクトの目的

平成17年第29回宇宙開発委員会
にて報告。

「工学技術実証」の探査機である。

将来の本格的なサンプルリターン探査に必須で鍵となる技術を実証することを目的としている。

サンプルリターン技術とは：

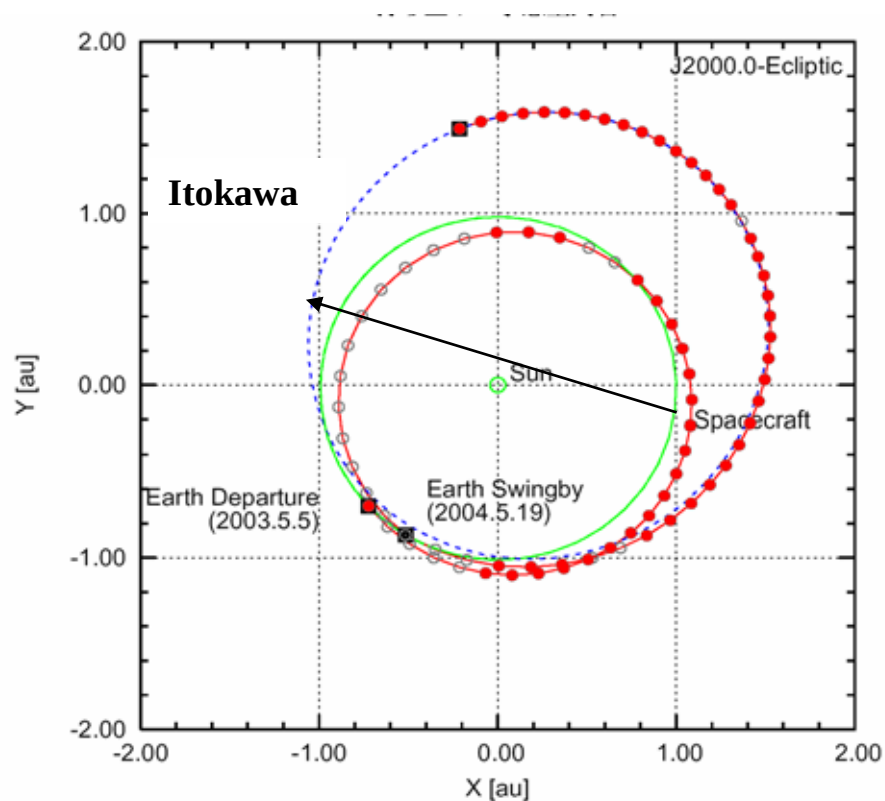
天体表面の標本を地球に持ち帰る技術である。

きわめてわずかのサンプルでも、地上の最新鋭の機器によって分析することができる。

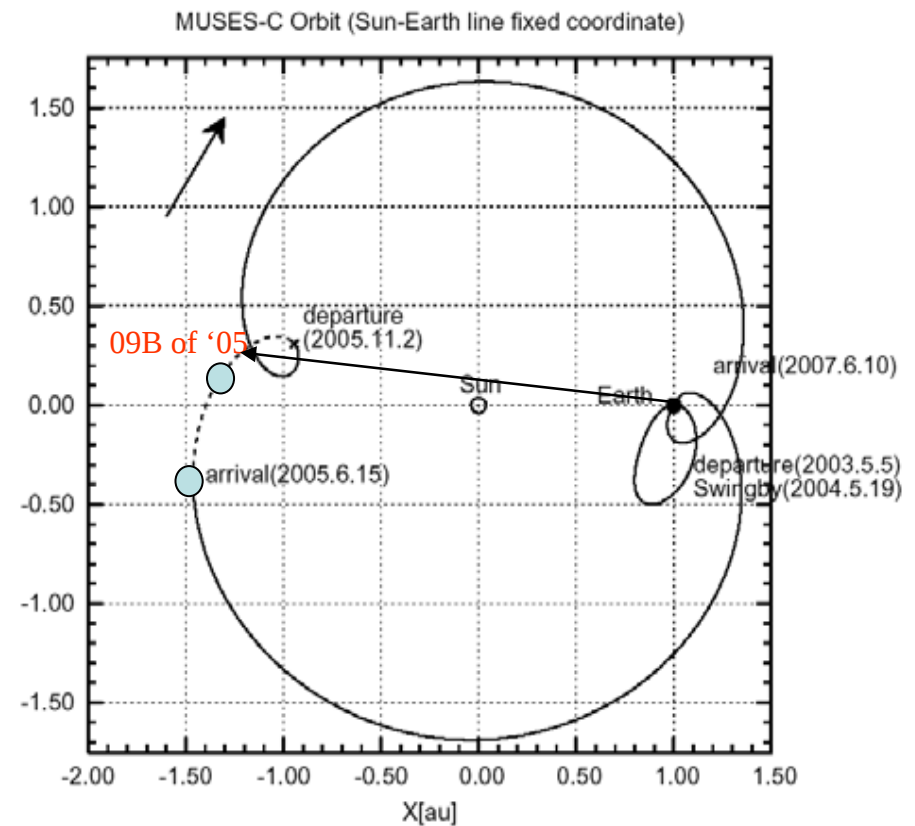
「5つ」の重要技術の実証：

1. イオンエンジンを主推進機関として用い、惑星間を航行すること、
2. 低推力推進機関とスウィングバイの併用による加速操作を実証すること、
3. 光学情報を用いた自律的な航法と誘導で、接近・着陸すること、
4. 微小重力下の天体表面の標本を採取すること、
5. カプセルを、惑星間飛行軌道から直接に大気に突入させ、サンプルを回収すること。

イオンエンジンとスウィングバイ加速による往路軌道



慣性系における軌道



地球方向を固定して描いた軌道

現在、はやぶさは地球から約3億2000万kmの距離に位置している。

「はやぶさ」を支える総合理工学

平成17年第29回宇宙開発委員会
にて報告。(一部加筆)

- 「はやぶさ」を支える学術・技術分野
例: スウィングバイを含む航行技術と光学複合航法の面では
(工学) 超遠距離通信、信号処理、
(理学) 地球物理、太陽物理、プラズマ物理、天文学
- 「はやぶさ」探査機から波及する技術例:
イオンエンジン : プラズマ反応炉 (CVD, スパッタ)、高圧絶縁技術
自律機能、航法 : データ圧縮・符号化、
産業、介護ロボット、視覚認識ロボット
再突入カプセル: 複合耐熱材料
(極超音速航空機開発、CC タービン開発)
- 「はやぶさ」探査で拓かれる月・惑星探査(Exploration) :
往復の惑星間飛行が本格化すること、
生命探査(彗星核サンプルリターン)や、小惑星資源探査など。

搭載カメラで取得されたイトカワの画像



9月11日9時24分(世界時)撮影。同日18時24分(日本時間)
距離約 25km。視野は2度角。

左: v(540nm) バンド単色画像。

右: b(420nm), v(540nm), w(700nm) バンドをそれぞれBVR(Blue, Visual, Red)に割り当て、各波長の強度比を1:1:1にして合成した疑似カラー画像。

現在の探査機の状況

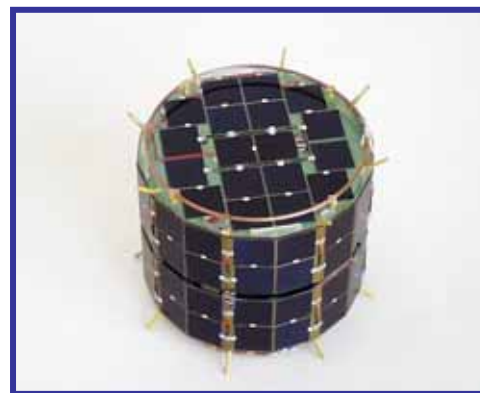
- 探査機バス機器の運用状況は良好である。
リアクションホイール(姿勢制御装置)3基のうち1基が故障し、2基による姿勢維持機能に切り替えているが(平成17年第29回宇宙開発委員会にて報告)、順調に作動中である。
- 自律光学航法機能については、その機能確認を終えており、軌道保持制御に利用していく予定。
- 搭載科学観測機器の機能も正常である。

今後の予定

- イトカワ到着以降、リモートセンシング観測を実施。
- 10月はじめに、高度約7km の地点にまで降下する。
- 10月中旬に太陽光が横から入射する(高位相角)位置からの観測を予定している。
- 11月には、ターゲットマーカと小型探査ロボット「ミネルバ」を投下するとともに、降下と着陸および試料採取を2回試みる予定である。
- 12月上旬に小惑星を離脱し、再度イオンエンジンを運転し、2007年6月に地球に帰還する予定である。

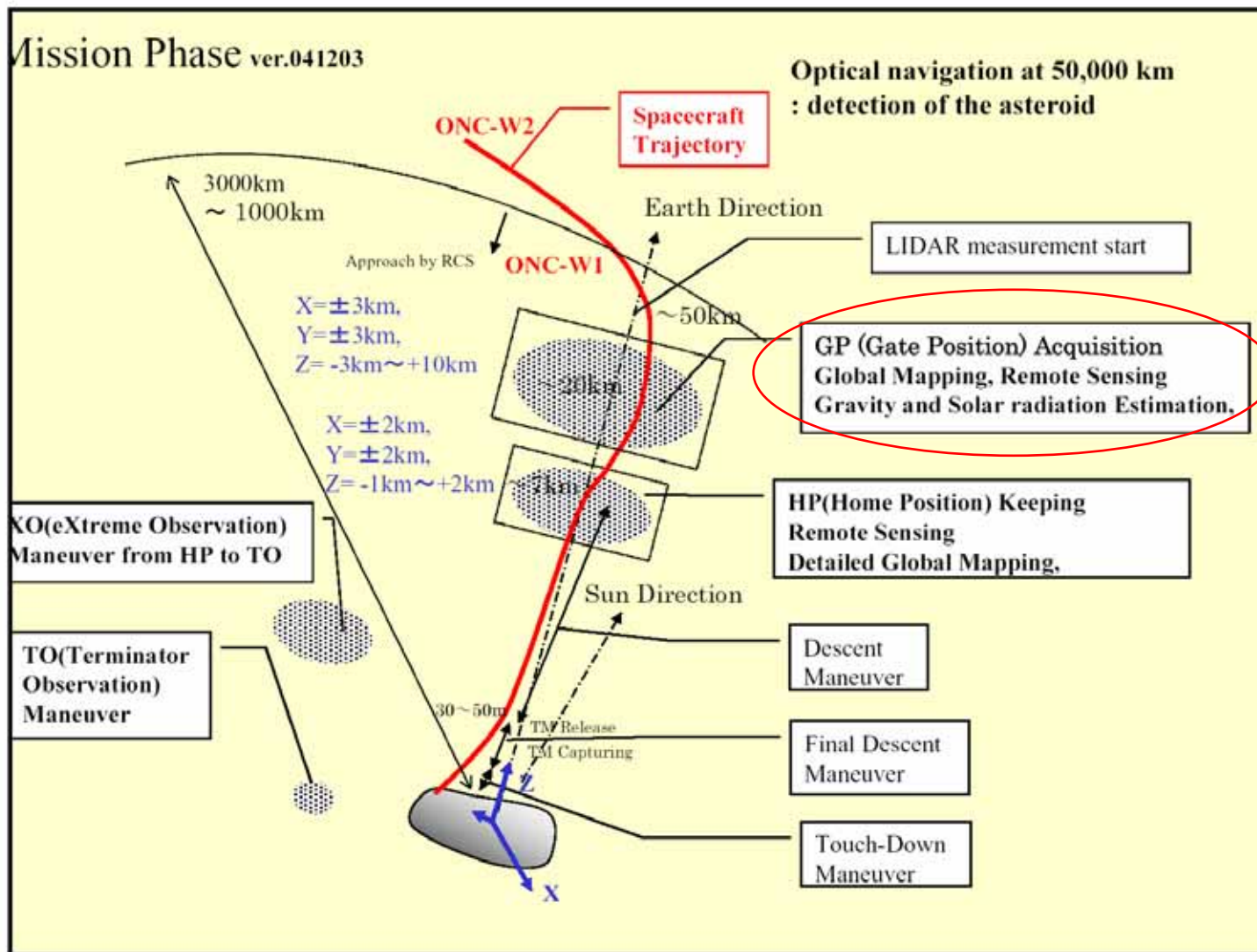


ターゲットマーカ



ミネルバ

イトカワ近傍フェーズ運用の概要



小惑星表面への降下、着陸



- 自律的な降下と着陸
- 人工的な航法標的であるターゲットマーカの使用と水平方向速度制御
- ロボット着陸機 MINERVA の投下
- 10cm/秒以下の軟着陸
- サンブラホーンの変形と弾丸の発射

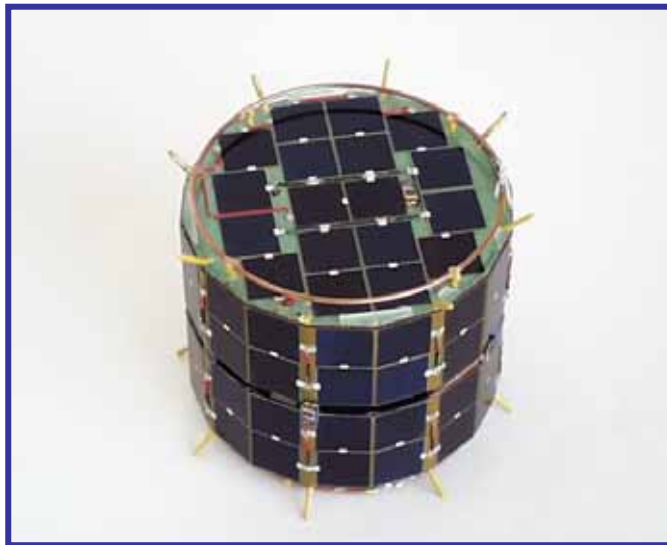
リモートセンシング観測の概要

イトカワの形状や表面物質分布等を観測。

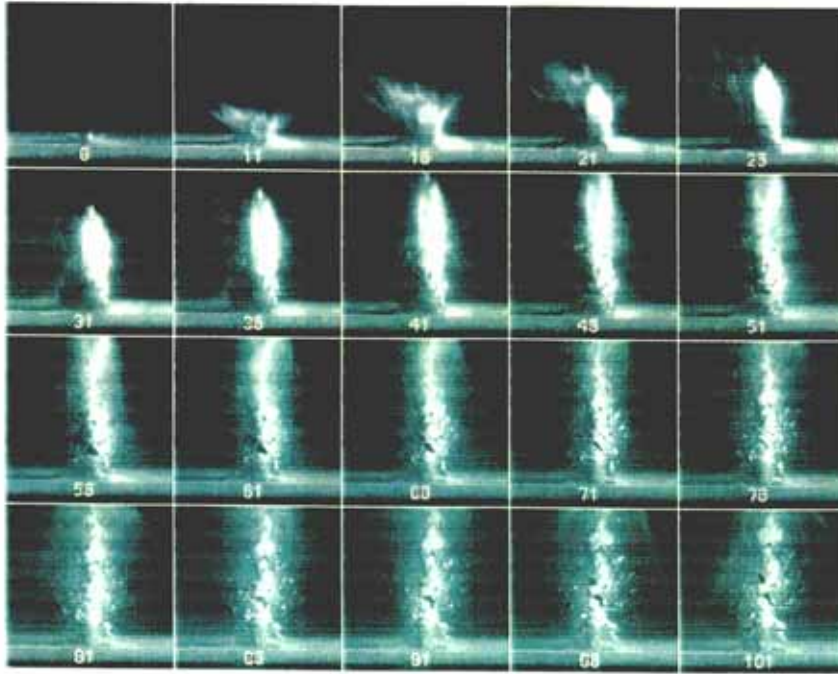
- レーザ高度計 (LIDAR) によるイトカワ形状の観測。
- 望遠分光撮像カメラ (AMICA) でのイトカワ表面全域の多波長帯撮像
- 近赤外分光器 (NIRS) での表面物質分布の観測。
- 蛍光X線分光器 (XRS) によるイトカワ表面の蛍光X線観測。

小惑星表面を移動探査するローバ実験機

- 質量591g 完全自律型
- ホッピング移動機構を搭載
- イトカワ表面の詳細画像取得・温度計測等



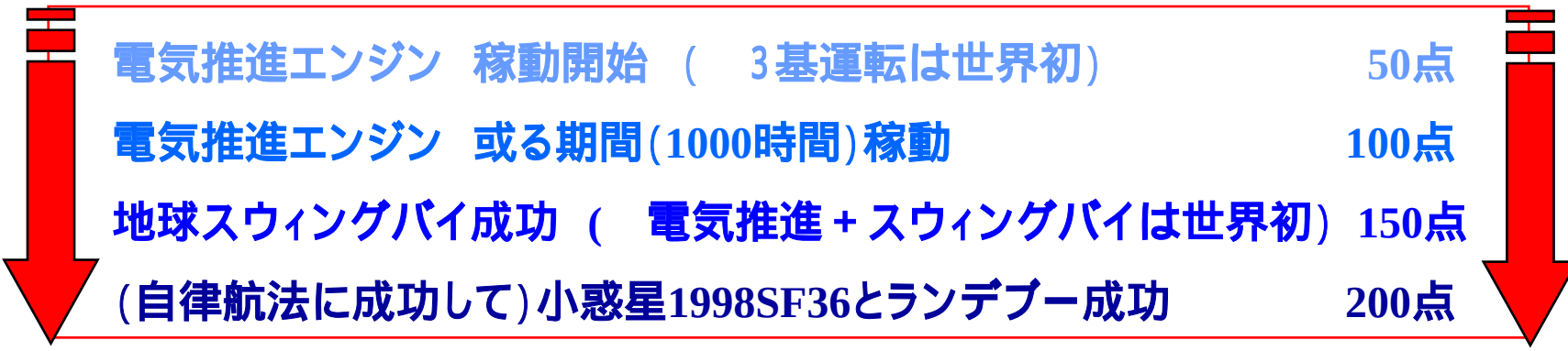
イトカワに降下し、試料採取を2回試みる予定。



堅い表面からの破片は、ほぼ真上にはねあがる。

- 重さが数グラムの金属球を秒速300m位の速度で打ち出す。
- 金属球は、小惑星の表面を破碎し、その結果、かけらが飛び散る。飛び散った破片は、サンプラー・ホーンに導かれ、探査機内の収集箱へ到達。
- 玄武岩から砂までの表面状態に対応できる。

「はやぶさ」計画のミッション達成度



電気推進エンジン 稼動開始 (3基運転は世界初)	50点
電気推進エンジン 或る期間(1000時間)稼動	100点
地球スウィングバイ成功 (電気推進 + スウィングバイは世界初)	150点
(自律航法に成功して)小惑星1998SF36とランデブー成功	200点
小惑星の科学観測成功	250点
小惑星にタッチダウンしてサンプルを採取	300点
カプセルが地球に帰還、大気圏に再突入して回収	400点
小惑星サンプル入手	500点

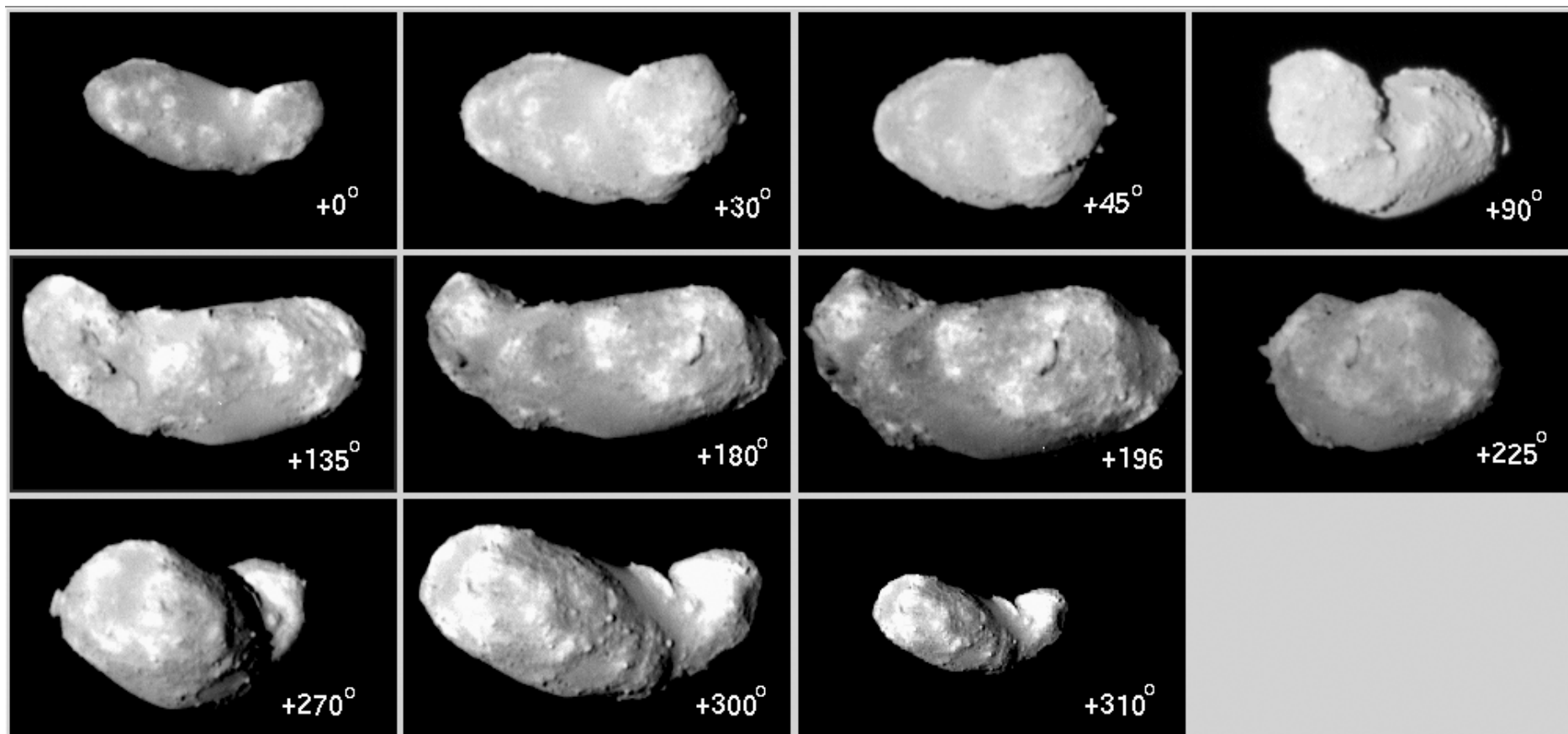
まとめ

- 小惑星探査機として最大の目的の一つである「目標天体への到着」を達成した。
- 現時点の探査機の状態は良好であり、イトカワに係る各種の科学観測を行う予定である。
- JAXA長期ビジョンに繋がる、宇宙探査機としての成果を挙げつつある。

【宇宙の謎と可能性を探求することで、知の創造と活動領域の拡大に貢献する】
次世代の惑星間宇宙航行技術を活用することで、木星型惑星や未踏の小惑星の探査を中心に、太陽・惑星環境の多点観測等を実施し、太陽系の生い立ちの謎に迫る。(JAXA長期ビジョン –JAXA2025- より)

- 本計画は、NASAとの協力で実施されており、ここに深甚に謝意を表す。

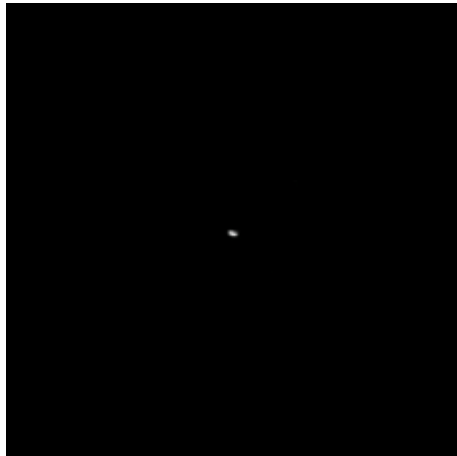
(資料) イトカワの自転の様子(連続写真)



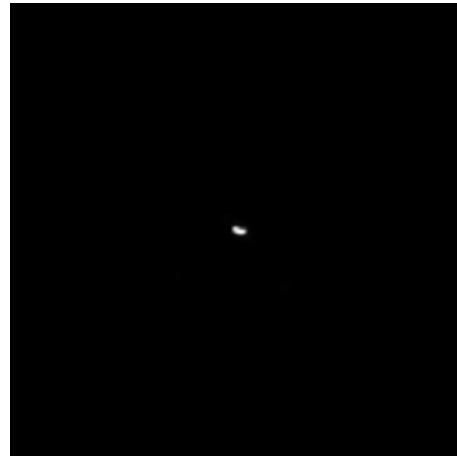
9月10日、11日に撮影されたイトカワ画像。(v band (540nm)で撮影)

自転周期: 12時間。自転軸方向は図面上の下方向。

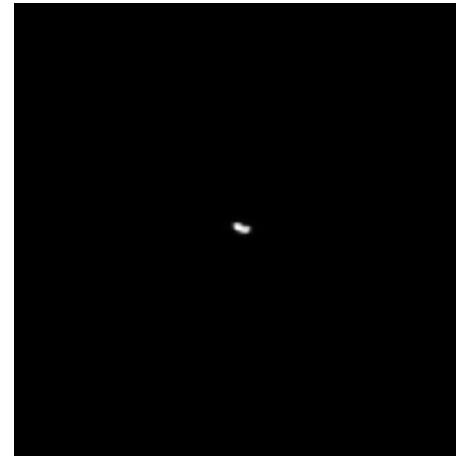
(資料) イトカワへの接近の状況(連続写真)



9/4 02:36 UTC, 1000km



9/5 15:30 UTC, 700km



9/6 03:32 UTC, 450km



9/7 16:00 UTC, 220km



9/8 16:15 UTC, 125km



9/9 16:28 UTC, 70km



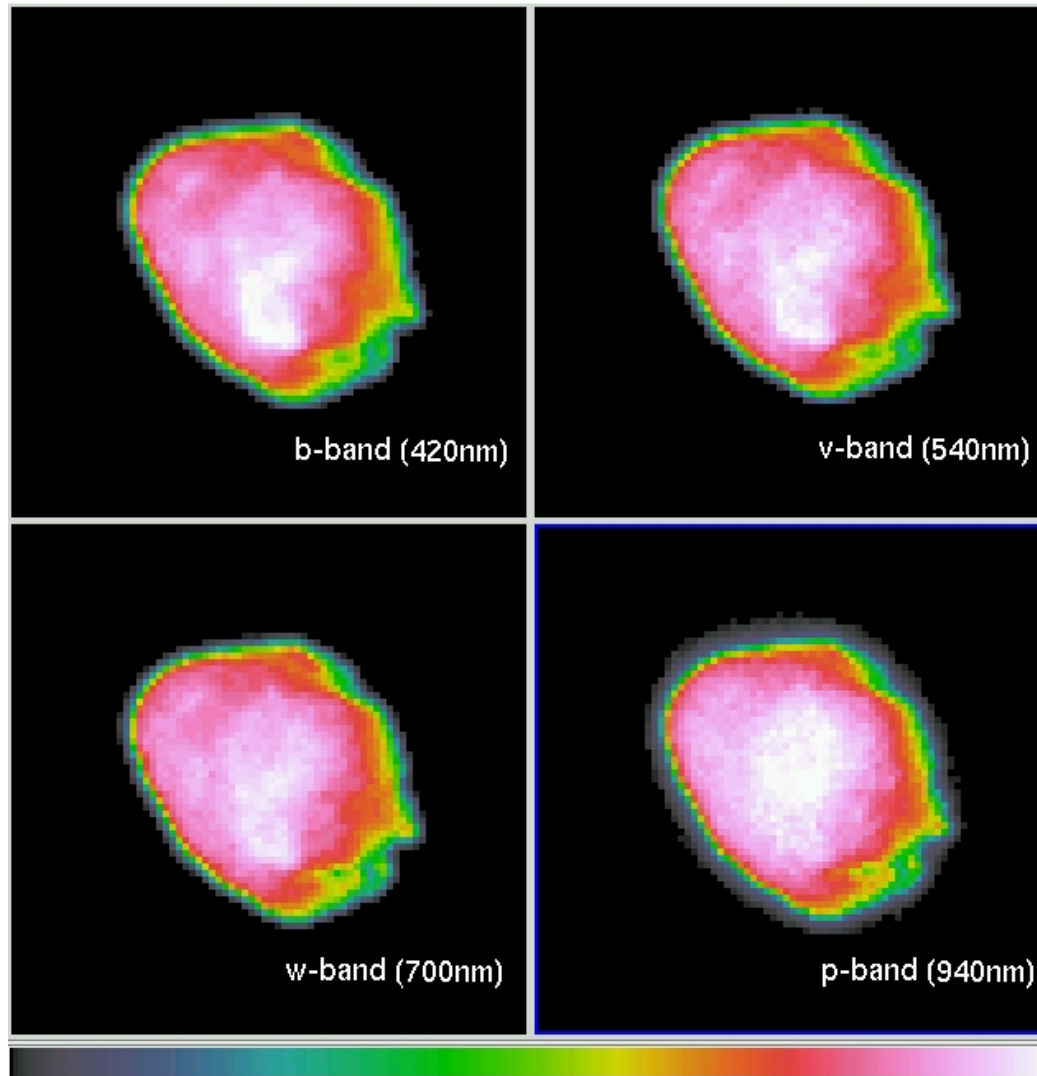
9/10 16:42 UTC, 30km

(25143) ITOKAWA

(視野: 1度 × 1度)

(資料)

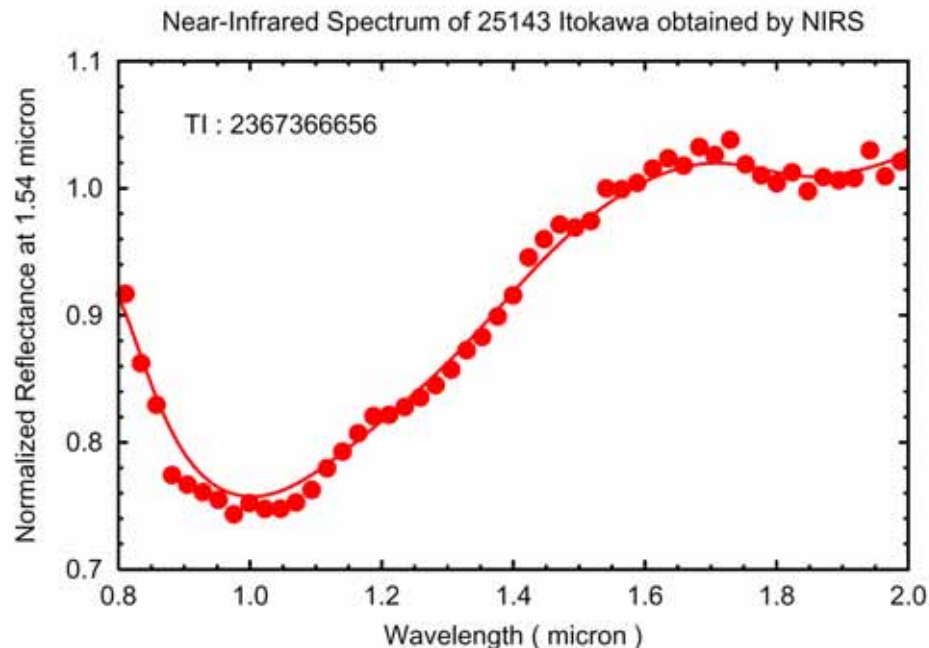
AMICA 光学カメラの校正状況



- イトカワを異なる波長のフィルタを通してみると、その明るさの分布にわずかな違いが見られる。
- これはイトカワの表面の色が場所により微かに異なる可能性を示している。
- この原因には、種類の異なる物質が存在するため、あるいは同じ物質でも変質の度合いが異なるものが存在するためなどが考えられる。
- 今後の詳細な観測によりこれらの色の違いの検証、およびその分布状況について調査する予定である。

(資料)

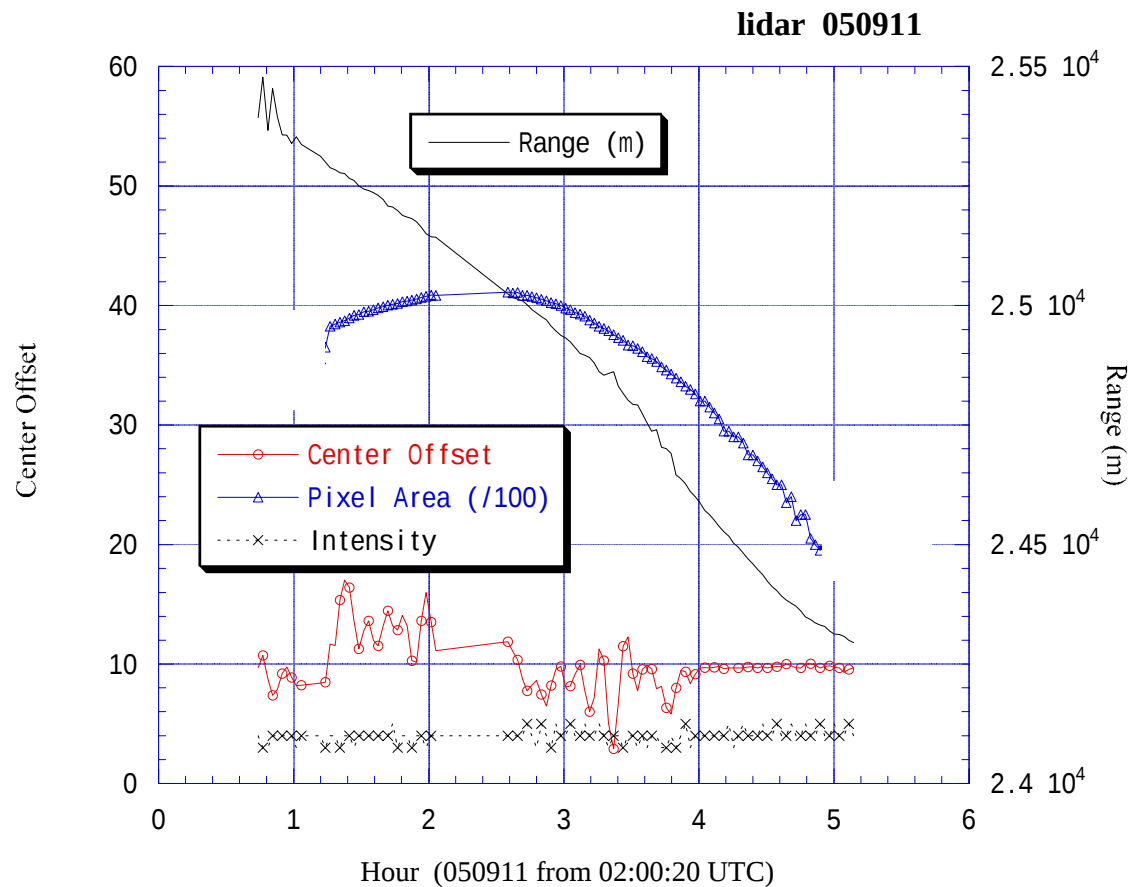
NIRS 赤外分光器の校正状況



イトカワの表面のある場所の反射スペクトルを計測し、波長 $1\mu\text{m}$ 付近に大きな吸収が認められた。
これは火成岩によく見られる鉱物であるかんらん岩や輝石が多く存在している可能性を示唆している。
今後、これらの量比や、空間的な分布についてより詳細な観測を行う。

観測時刻は、9月11日の4時50分(世界時)である。
赤い点がNIRSの各チャンネルで捕らえたデータである。正確には生データをNIRSの感度特性を用いてイトカワからのフラックスに換算し、さらに太陽光のスペクトルで割り算したものである。
赤い線はこれらをフィッティングしたものである。

(資料) LIDAR レーザ高度計の校正状況



9月11日の接近時の高度履歴例

- 9月10日に、距離48kmの地点で距離計測に成功した。(仕様は50km。)
- 9月11日からは、連続距離計測が可能になっている。接近時の時系列の距離変化の計測結果の一部を掲げた。青がイトカワのみかけの大きさを示し、イトカワが回転していることがわかる。高度測定結果から、自転に伴う形状起因の高度のゆらぎが観測できる。
- 静止後は、光学航法カメラと組み合わせて、実時間航法センサを構成する。

(資料) 最近の諸外国惑星探査との対比

電気推進機関によるランデブーで、往復飛行を行うのが目標の技術

- Rosetta²: ESA 弾道 + 化学推進、ランデブー、片道飛行
- Stardust²: NASA 弾道 + 化学推進、フライバイ、往復飛行
- SMART-1² ESA 電気推進、フライバイ + 月周回軌道、片道飛行
- Messenger² NASA 電気推進、フライバイ + 水星周回軌道、片道飛行
- DS-1¹ NASA 電気推進、フライバイ、片道飛行
- DeepImpact¹ NASA 弾道 + 化学推進、フライバイ、片道飛行
- DAWN⁰ NASA 電気推進、ランデブー、片道飛行
- はやぶさ² JAXA 電気推進機関、ランデブー、往復飛行

(0: 開発中、1: 飛行終了、2: 飛行中)