

はやぶさ2搭載中間赤外カメラTIRの開発状況と科学目標

○岡田達明¹, 福原哲哉², 田中智¹, 田口真³, 中村良介⁴, 関口朋彦⁵, 今村剛¹, 千秋博紀⁶, 荒井武彦⁷, 小川佳子⁸, 北里宏平⁸, 出村裕英⁸, 松永恒雄⁹, 長谷川直¹, 和田彦彦¹, 坂谷尚哉^{10,11}, 滝田隼^{11,1}, Jorn Helbert¹², Thomas Mueller¹³, Axel Hagermann¹⁴, はやぶさ2-TIRチーム¹
¹ISAS/JAXA, ²北海道大, ³立教大, ⁴産総研, ⁵北海道教育大, ⁶千葉工大, ⁷NAOJ, ⁸会津大, ⁹国立環境研, ¹⁰総研大, ¹¹東京大, ¹²DLR, ¹³MPE, ¹⁴オープン大

「はやぶさ2」での熱観測

1) 対象小惑星の素性の理解: 熱物性の特徴から推定

- 表層の物理状態とその分布, 地形との対応から母天体内での圧密or低密度化の過程
- 現在の低重力小惑星での圧密や堆積過程
- 地上観測と現地観測との比較
- 地上観測による熱モデルの妥当性検証と将来の応用性
- YARKOVSKY/YORP効果の実観測と力学進化への応用

2) サンプル採取地点選定のため基礎情報

- 表層状態を熱慣性から推定
- 砂, 礫, 岩盤の地域をHome Positionから選定
- 粒子内に組織的多様性を含む1mm径粒子の採取可能な地点
- 軌道履歴の推定と合わせて過去の最高到達温度の推定
- 有機物の揮発温度依存性から残存成分を予測

3) 小惑星への降下運用の安全アセスメント

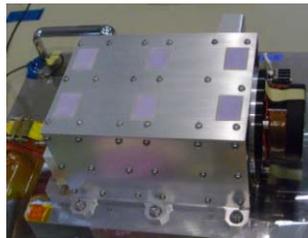
- 小惑星熱放射, 表面温度
- 探査機の安全な降下運用を保障
- MASCOT/MINERVA-IIの着陸運用の安全性
- 小惑星熱モデル
- 熱シミュレーションによるミッション観測運用計画立案



C型: 253 Mathilde (D~50km)
 非ラブルパイル構造
 非常に低密度~1300kg/m³
 巨大クレータ存在

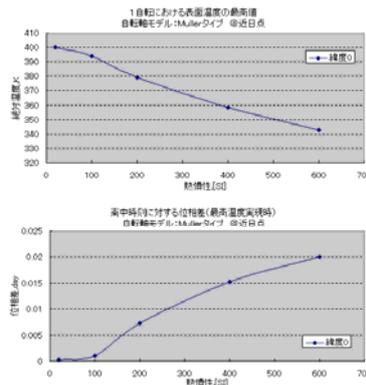


小型小惑星: 25143 Itokawa (D~0.3km)
 ラブルパイル構造
 低密度~1900kg/m³
 クレータ乏しく, 巨大岩塊あり
 平原(堆積地)あり



DE-IF試験時のTIR-S(FM)

小惑星熱モデルの計算例



「はやぶさ2」ミッション

- 目的: C型近地球小惑星の探査とサンプルリターン
- 打上: 2014年12月@種子島 (バックアップ: 2015年)
- 到着: 2018年7月
- 出発: 2019年12月以前
- 帰還: 2020年12月
- 体制: JAXA, 海外協力(米, 独・仏, 豪)

探査対象天体: 1999JU3

- 分光タイプ : Cg, NEA
- 天体直径 : 0.92±0.05km
- 自転軸斜角 : (λ, β)=(331, 20), (73, -62)
- 自転速度 : 0.3178day (~7.6 h)
- アルベド : 0.063 ± 0.006
- 熱慣性 : 200-300 (SI)
- 軌道 : 0.96~1.42AU

TIR (中間赤外カメラ)

- 小惑星の熱撮像(サーモグラフィ)を10μm帯で世界初実施
- 非冷却ボロメータレイ使用による軽量化設計
- 「あかつき」LIRと同設計で短期間での確実な開発を実現

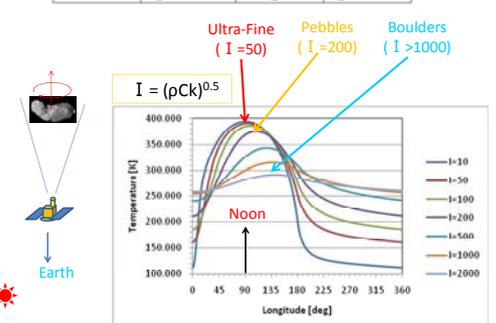
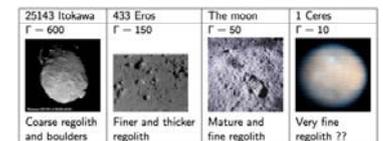
Table. Specifications of TIR (at EOL)

Mass	3280 g
Power	22W
Detector	NEC 320 bolometer (AR coating)
Wavelength	8-12μm
FOV	16° × 12°
I FOV	0.877mrad = 0.05°
Detection range	250-400K
Pixel numbers	344 × 260 (effective 320 × 240)
Temp. resolution	< 0.5K (@350K), < 0.6K (@250K)
Abs. temp accuracy	< 5K (@350K), < 6K (@250K)
Ge Lens F-value	1.4
MTF (@nyquist freq)	> 0.3
A/D Conversion	12 bit

熱慣性と物質の物理状態

熱慣性: I [J m ⁻² s ^{-0.5} K ⁻¹]	表面状態
~10	微細粒(<10μm)で高空率率(~80%): 1セレス, 火星の砂
~50	細粒(~100 μm or less): 月レゴリス
100~200	砂利(<mm): 433 エロス
200~400	砂利(<cm): 25143イトカワ「ニューゼスの海」
400~1000	岩石片(<cm): 25143イトカワ「荒地」
1000~2000	岩石(空隙多数)
2000~	岩石(一枚岩, 空隙小 Monolithic rocks)

Thermal inertia gives information about the presence (or absence), depth and thickness of regolith, and the presence of exposed rocks on the surface of atmosphere-less bodies (I in SI units: Jm⁻²s^{-0.5}K⁻¹).



TIR (中間赤外カメラ)の科学目標概要

・対象天体=C型・小型・近地球型(NEO)の予想される物理的特徴

H=20km~0.1kmで熱撮像. 熱慣性を±20%で決定し物性・物理状態を決定

- 炭素質隕石的な物質, 極めて低いバルク密度
- 低密度(or低強度)のため巨大クレータが形成, 内部が露見
- 低重力場のため巨大岩塊が表層に点在
- 砂礫や岩石小片が重力ポテンシャル面に沿って堆積, 平原形成
- クレータが表層を掘削, 内部を露出, エジェクタが周囲に堆積(?)

- 熱放射から熱物性を決定し, 表層状態を制御
- 小惑星の物理的・熱的進化過程の解明

・C型の地形観測

20m@20km, 1m@1km等での解像度で0.3K以下の精度で地形判別

- 高太陽高度からの観測が大部分
- 高太陽高度からの観測が大部分

- 地形認識に温度差にたいする熱撮像が有効

・Yarkovsky・YORP効果

小惑星熱モデル(解像度20m, 熱慣性±20%, 放射率±3%)を構築

- 小惑星熱モデルから予想される1年後の小惑星軌道・自転変化
- 高精度軌道決定と, 撮像による自転変化

- 小惑星質量, 慣性率への制約

・含水鉱物・有機物吸収帯の熱放射成分の除去・補正

絶対温度±2K以内で決定し, NIRS3の吸収帯の深さが最悪で±50%以内に

- NIRS3による3μm帯分光スペクトルから熱放射成分の除去

- 小惑星表面上の含水量等の定量的検出

・小惑星からのダスト雲等の放出物の検出

50μm大粒子で数個/cc以上なら検出可能性あり

- 静電力, 微小隕石衝突等で小惑星から周辺に浮遊するダスト
- 人工クレータ(SCI)衝突後の浮遊ダスト

- ダスト生成と浮遊メカニズム
- はやぶさでの試料採取の「謎」の解明

・衛星探査

HPから10m以上のサイズで検出・軌道追跡が可能

- 小惑星を周回する衛星の探査

- 小惑星質量の決定と軌道安定性から質量分布の推定