

小惑星探査機「はやぶさ2」 記者説明会

2022年1月13日

JAXA はやぶさ2プロジェクト
宇宙科学研究所 地球外物質研究グループ



記者説明会の概要と目次



概要

- 2022年1月13日、リュウグウ試料のカタログを世界に向け一般公開
 - 3次元サンプリングによる小惑星表面および地下物質を含む物質が記載された、カタログ
 - サンプルを変性せず非汚染・非破壊・非曝露の条件で作成された、カタログ
 - リュウグウの詳細な地質図（ミクロからマクロまで）と紐づけられた、カタログ
 - 今後の、詳細（破壊）分析から得られる科学成果の価値を担保する、カタログ
- 探査機運用の状況
 - 拡張ミッションの運用を継続中
 - 2021年12月27日には、2021年のイオンエンジン運転ノルマを達成した

目次

1. リュウグウ試料カタログの詳細（臼井・矢田・岡田）
2. 今後の予定（臼井）
3. 探査機運用の状況（参考資料）



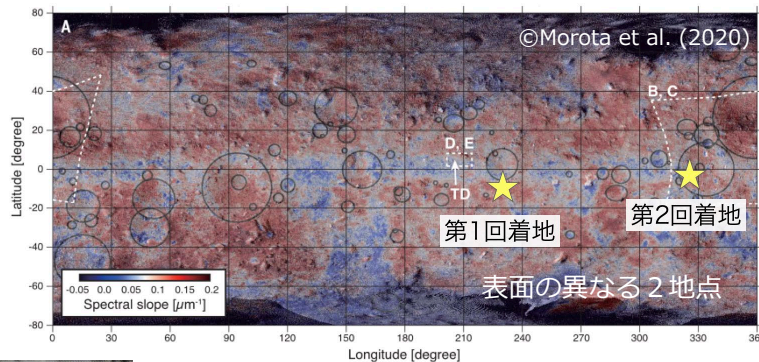
3次元サンプリングによる小惑星表面および地下物質を含む物質が記載されたカタログ



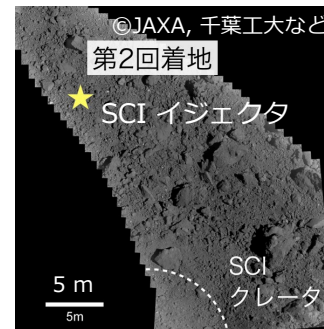
異なる場所・異なる深さから回収された試料である可能性を有する



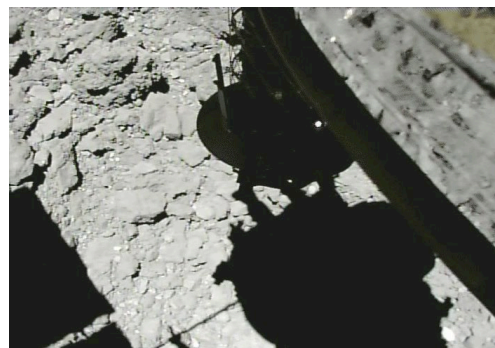
©JAXA, 東大など



©Arakawa et al. (2020)



©JAXA, 千葉工大など



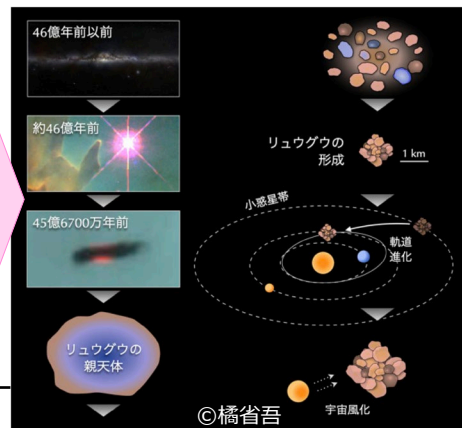
©JAXA

CAM-H :
凹凸のある
粒子・平板
状粒子など
両着地点で
観測



リュウグウを代表する粒子の回収 ©JAXA

初期分析・公募分析
キュレーション・



©橋省吾

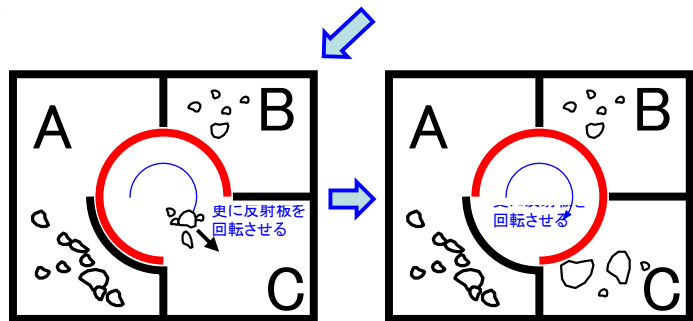
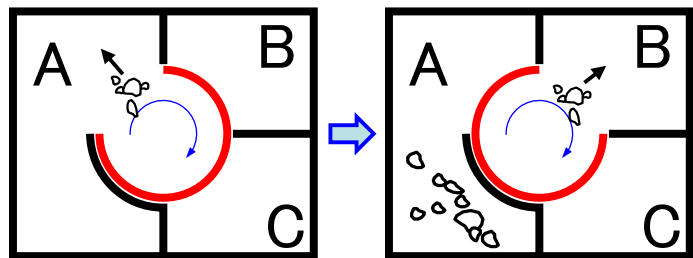
宇宙風化



3次元サンプリングによる小惑星表面および地下物質を含む物質が記載されたカタログ



異なる場所・異なる深さから回収された試料を個別にキュレーション



レを格納
がされる)

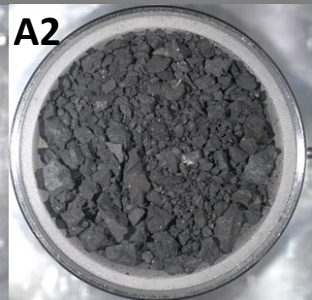
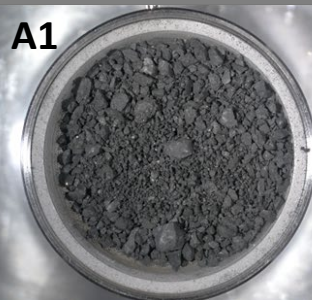
カプセルに搬送前の状態
(3室ともフタがされる)

A室： 1回目のタッチダウン時の採取

B室： 降下運用中の浮遊ダスト（？）

C室： 2回目のタッチダウン時の採取

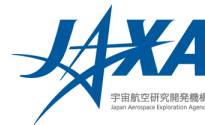
A室: 1回目のサンプリング(赤道付近)



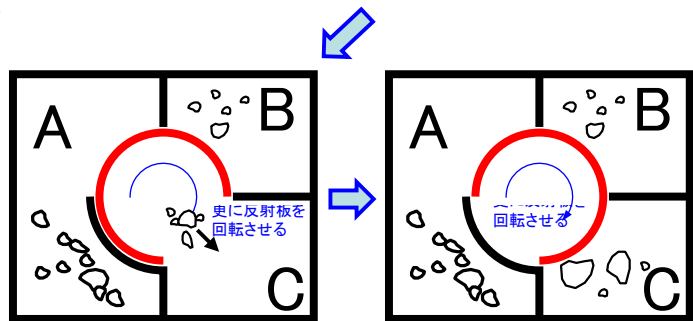
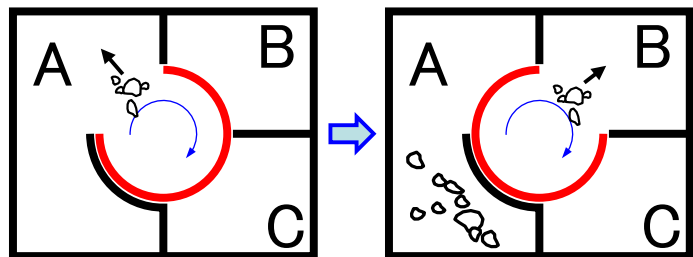
回収試料の顕微鏡画像。容器の直径：21 mm



3次元サンプリングによる小惑星表面および地下物質を含む物質が記載されたカタログ



異なる場所・異なる深さから回収された試料を個別にキュレーション



レを格納
がされる)

カプセルに搬送前の状態
(3室ともフタがされる)

A室： 1回目のタッチダウン時の採取
B室： 降下運用中の浮遊ダスト（？）
C室： 2回目のタッチダウン時の採取

c室：2回目のサンプリング(人工クレータ付近)



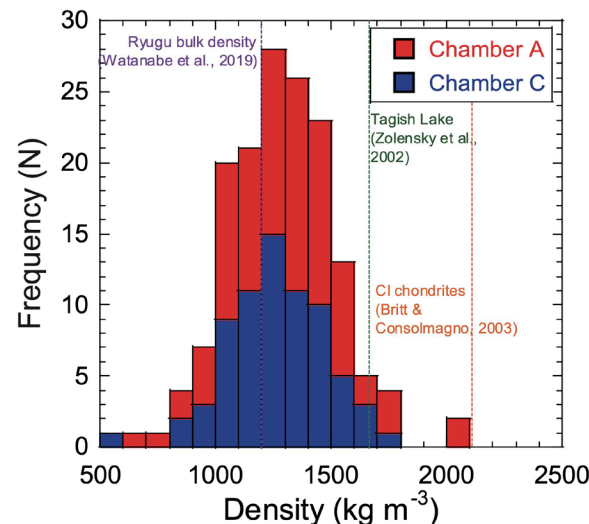
回収試料の顕微鏡画像。容器の直径：21 mm

水・有機物に富み、太陽系初期の情報を保持する、始原物質である可能性を示唆

リュウグウ試料(A室の一部)の光学顕微鏡写真



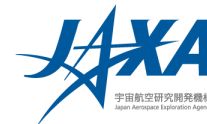
個別リュウグウ粒子の全体密度分布



- 顕微鏡観察の結果、高温包有物が見られなかった
- リュウグウ粒子の全体密度の平均値は既知のどの隕石よりも小さかった。
- 算出された空隙率は中間赤外カメラデータから推定された値と整合的

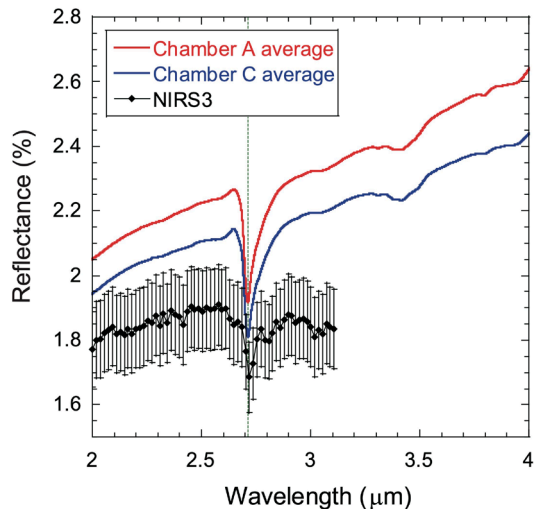


非汚染・非破壊・非曝露の条件で作成されたカタログ



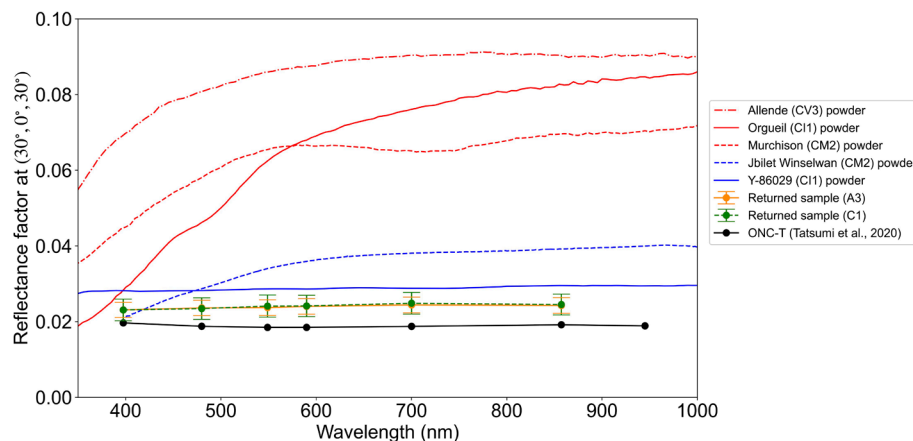
水・有機物に富み、太陽系初期の情報を保持する、始原物質である可能性を示唆

リュウグウ試料と探査機データの赤外反射スペクトルの比較



- 含水鉱物(2.7 μm)、有機物、炭酸塩鉱物(3.4 μm)に特徴的な吸収特性が見られた
- 探査機搭載機器(NIRS3)のリュウグウ全球の値と同等で、**帰還試料がリュウグウ表層物質の代表である**事が明らかになった

リュウグウ試料、隕石、探査機データの可視スペクトルの比較



- 他の隕石よりも暗く、平坦な反射特性を示した。
- 探査機搭載機器(ONC-T)のリュウグウ全球の値と同等

=>リュウグウ帰還試料は、太陽系の平均元素組成と最も近い、非常に始原的な隕石(CIコンドライト)と似ている

非汚染・非破壊・非曝露の条件で作成されたカタログ

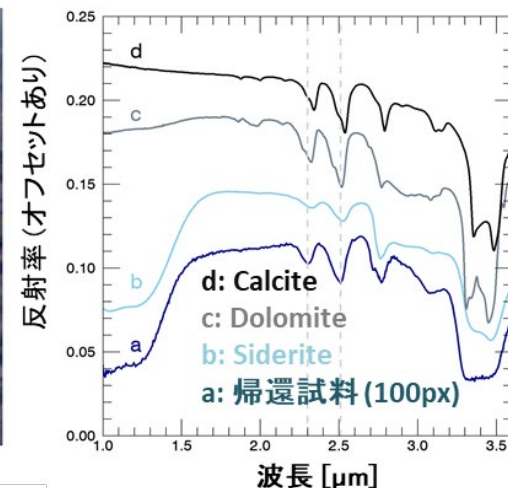
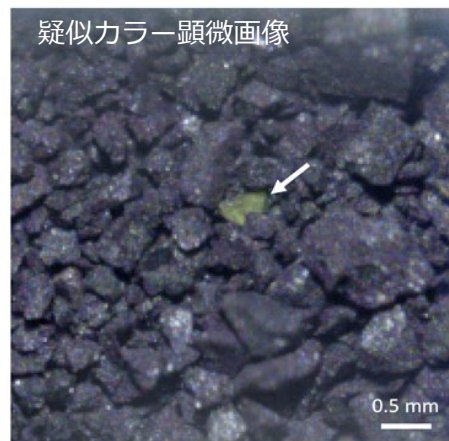
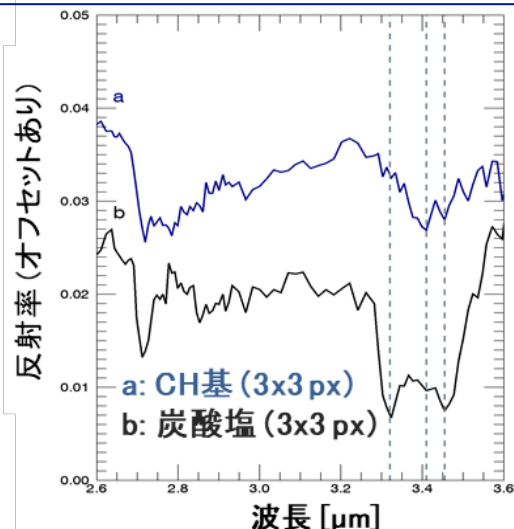
NH基・OH基・炭酸塩・有機物に富むサブミリメートル粒子の存在を示唆

■ リュウグウ試料の3.4 μ m吸収の特徴をマイクロオメガで
粒子個別に調査

- (a) CH基（脂肪族有機化合物）の特徴 → 高温になっていない
- (b) 1% 程度の粒子は炭酸塩の特徴 → 水質変成の証拠

■ 炭酸塩のうち最大の粒子（～0.4mm大）の特徴

- ・ 擬似カラー画像にすると明瞭に識別可能
- ・ 3.4 μ m吸収のほか、2.3 μ m、2.5 μ m、2.8 μ mから
Fe²⁺ を含む炭酸塩と思われる

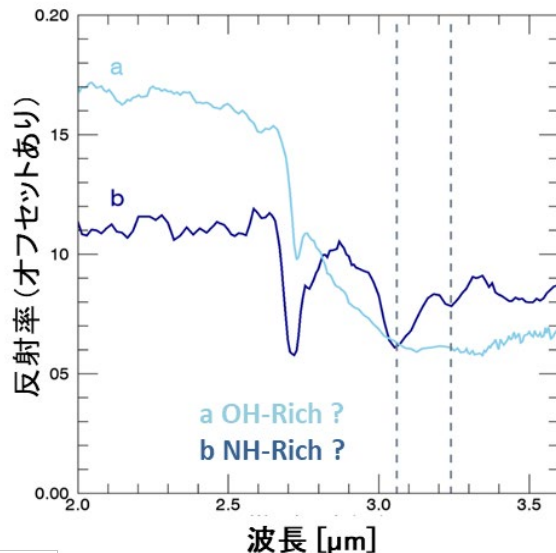
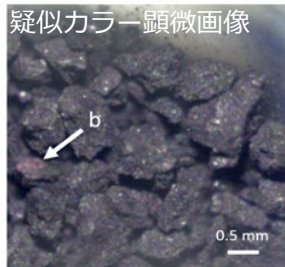


NH基・OH基・炭酸塩・有機物を含むサブミリメートル粒子の存在を示唆

■ リュウグウ試料の3.1 μ m吸収をマイクロオメガで粒子毎に確認

(a) 幅広い吸収帯をもつ粒子 → OH基の可能性を示唆

(b) 3.06 μ mと3.24 μ mの組み合わせ → NH基の可能性を示唆



◆ 全体平均の特徴

- ・ 最も強い2.7 μ m吸収(OH基) 全体が“含水”
- ・ 低い反射率
- ・ 0.05mm以上の高融点の含有物が無い

→ **CIコンドライト的。リュウグウの代表的物質?!**

◆ 個別粒子の特徴

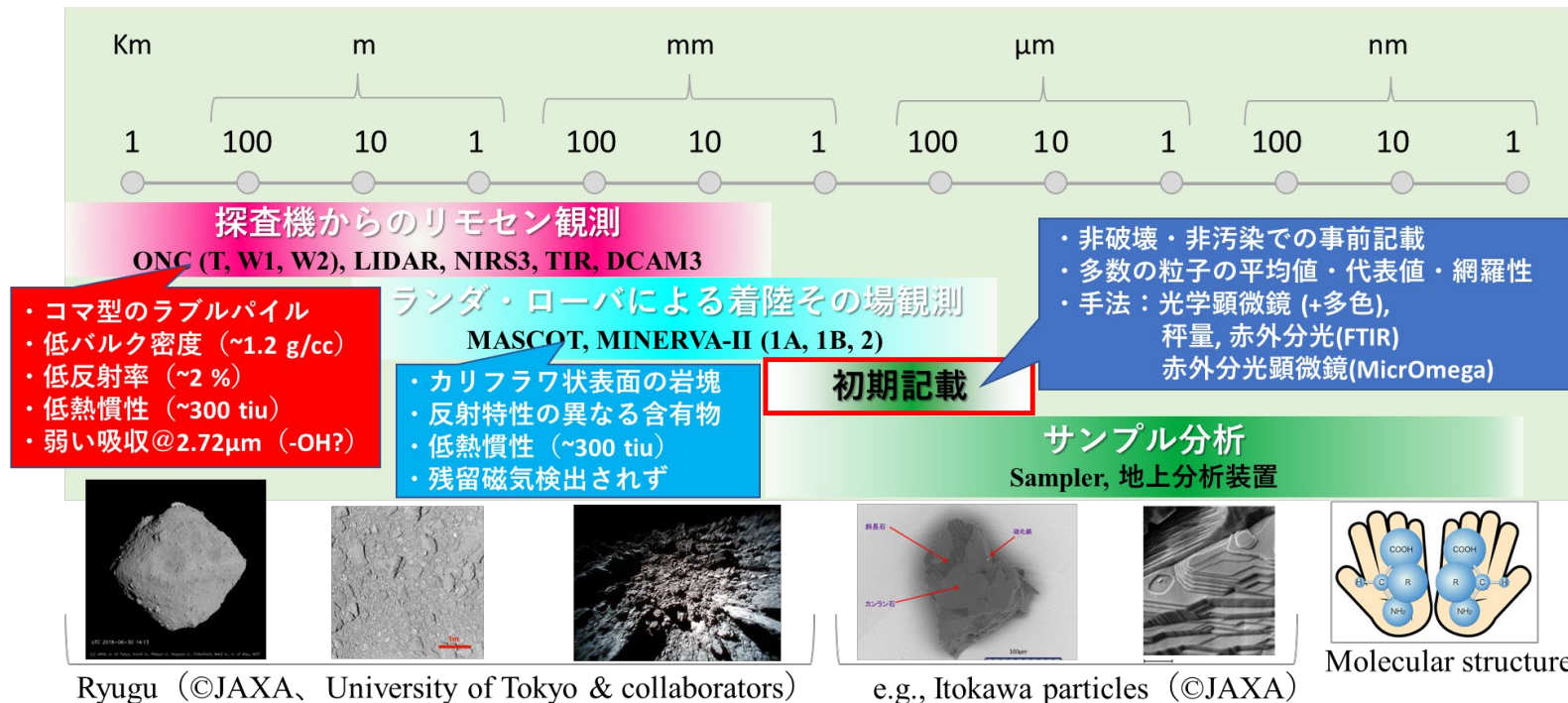
- ・ 大部分は平均的な暗い、有機物を含む粒子
- ・ 1%弱の粒子は炭酸塩、OH基やNH基を多く含む

→ **母天体の内部で変成度の異なる領域があり、破碎・再集積の過程でそれらが混合した?!**



リュウグウの詳細な地質図と紐づけられたカタログ

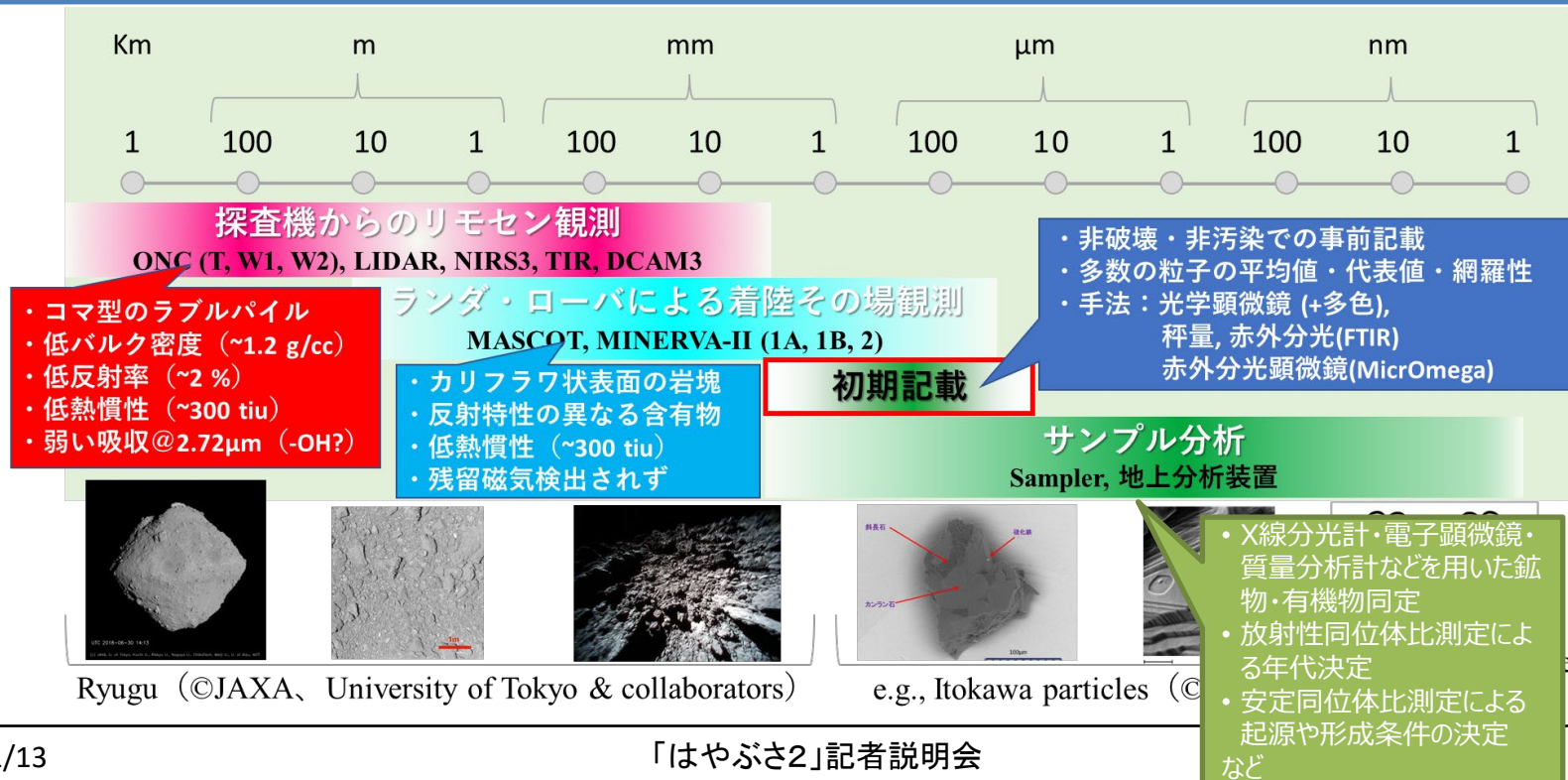
地質現象から分子構造に至る、10桁を超えるスケールでの総合観測・分析を展開





リュウグウの詳細な地質図と紐づけられたカタログ

- 探査機による遠隔観測・近接観測、非破壊・非汚染でのキュレーションを実施
- 実験室での詳細（破壊）分析が進行中



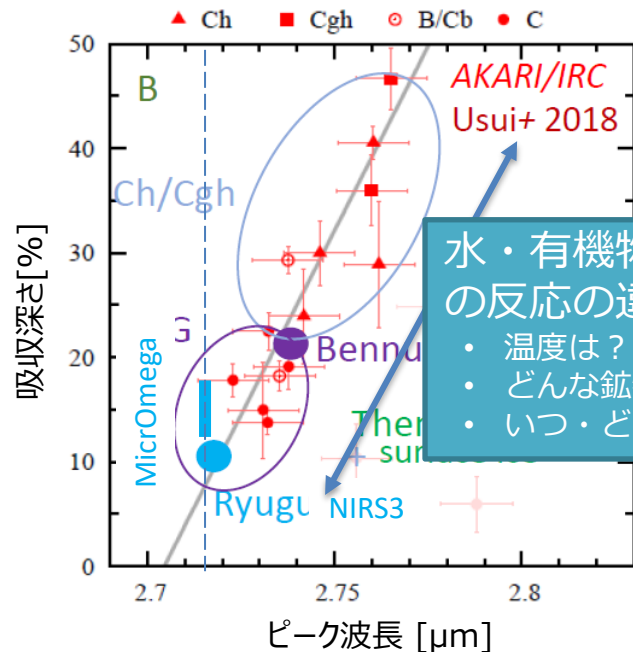
これまで行ってきた、
Phase 1 キュレーション
進行中の、
Phase 2/初期分析



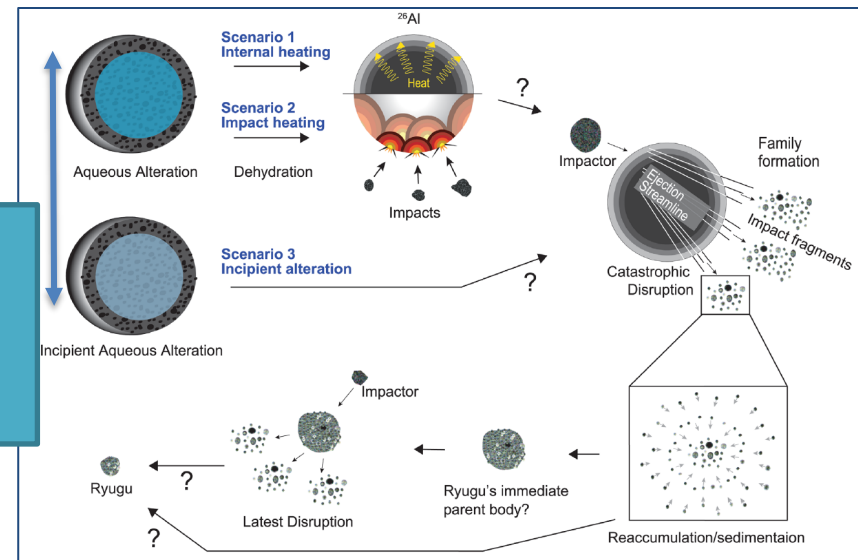
始原始的な炭素質（C型）小惑星試料に関する 世界で唯一のカatalog

試料分析によりC型小惑星を代表するリュウグウでの水・岩石・有機物の反応を紐解く

C型小惑星の反射スペクトル (F. Usui+, 2018に追記)



C型小惑星リュウグウの形成モデル (Sugita+, 2019)

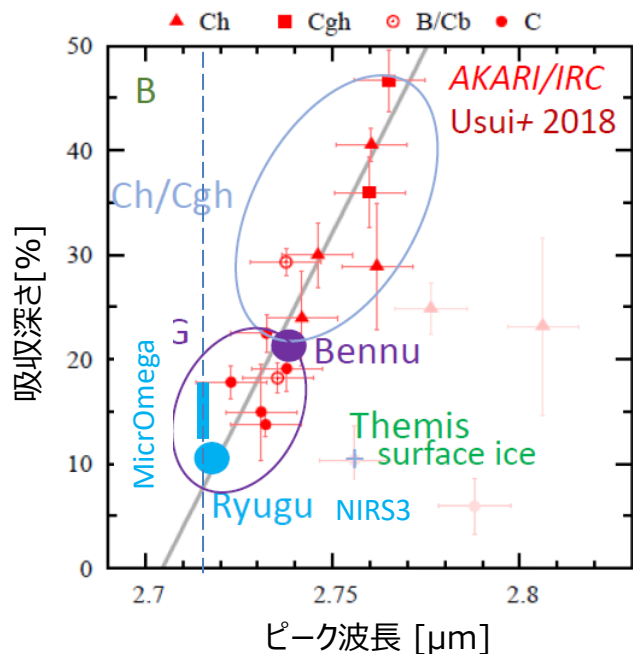




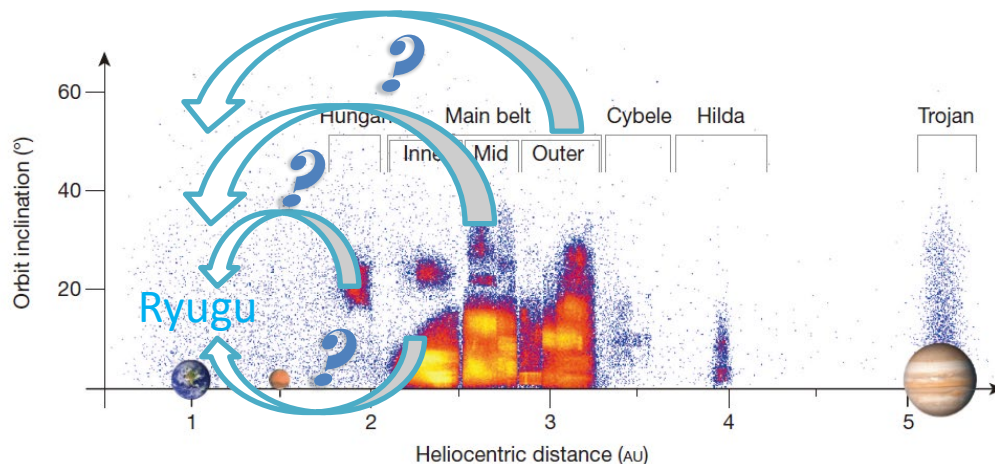
始原始的な炭素質（C型）小惑星試料に関する 世界で唯一のカatalog

試料分析によりリュウグウに記録された太陽系初期における水・有機物の情報を獲得

C型小惑星の反射スペクトル (F. Usui+, 2018に追記)



太陽系内での小惑星の分布図 (De Meo & Carry, 2014を改変)



リュウグウの母天体は、太陽系のどこで形成され、いつ、どのように地球軌道にもたらされたのか？



リュウグウ粒子カタログの公開



国際公募の募集開始に合わせ、本日（1月13日）サンプルカタログを一般公開

Ryugu Sample Database System

About Usage DOI Sample Request (Ryugu Sample AO System)

ASRG DARTS JAXA

Display style: table thumbnail

Items per page: 25 50 100

Image size: small medium

add columns: + condition + category + label + FTIR + MicrOmega + color ratio

Reset (default style)

Search constraints: AO allocation chamber name form

Search results: 463 hits

Constraints: no constraint.

download

sample catalog image

AO allocation	chamber	name	form	photo	microscope	size(μm)	weight(mg)	link/download
☐ available	A	A0001	particle			5130	18.1	- all description - data folder - FTIR(csv)
☐ n/a	A	A0002	particle			4092	19.3	- all description - data folder - FTIR(csv) - MicrOmega(csv)

カタログ公開先: <https://darts.isas.jaxa.jp/curation/hayabusa2/>

JAXA宇宙科学研究所地球外物質研究グループのHP <https://curation.isas.jaxa.jp/> からアクセス可能



国際公募の募集



本日（1月13日）、研究テーマ申し込みサイトを一般公開

2020年12月

Phase1: 試料全体像の把握、最初の分配試料の初期記載
(帰還から6ヶ月以内)

2021年6月

キュレーション作業：個別試料の初期記載、国際
公募準備、サンプルカタログ作成

2021年12月

サンプルカタログ公開（今回）
テーマ募集・選定

2022年6月

将来への保管
60%

国際公募
15%

フラトリーチ 1%

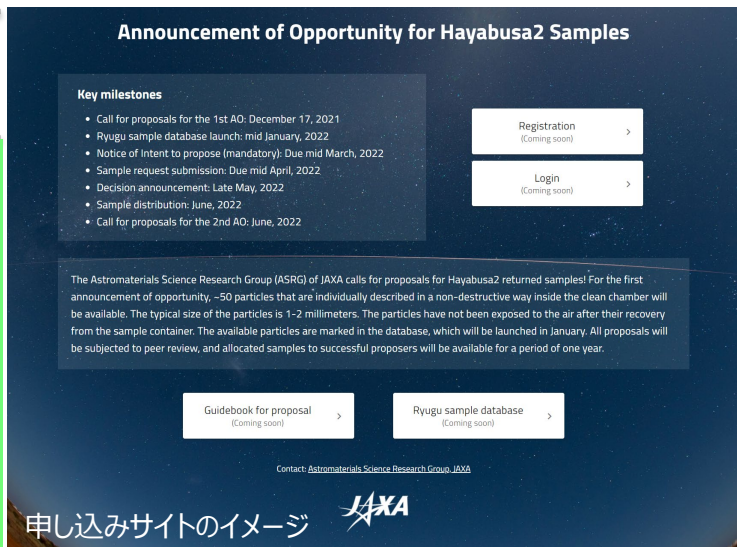
NASA 10%

Phase2: 海外 2%

初期分析 6%

Phase 2 4%

JAXA 詳細記載用試料

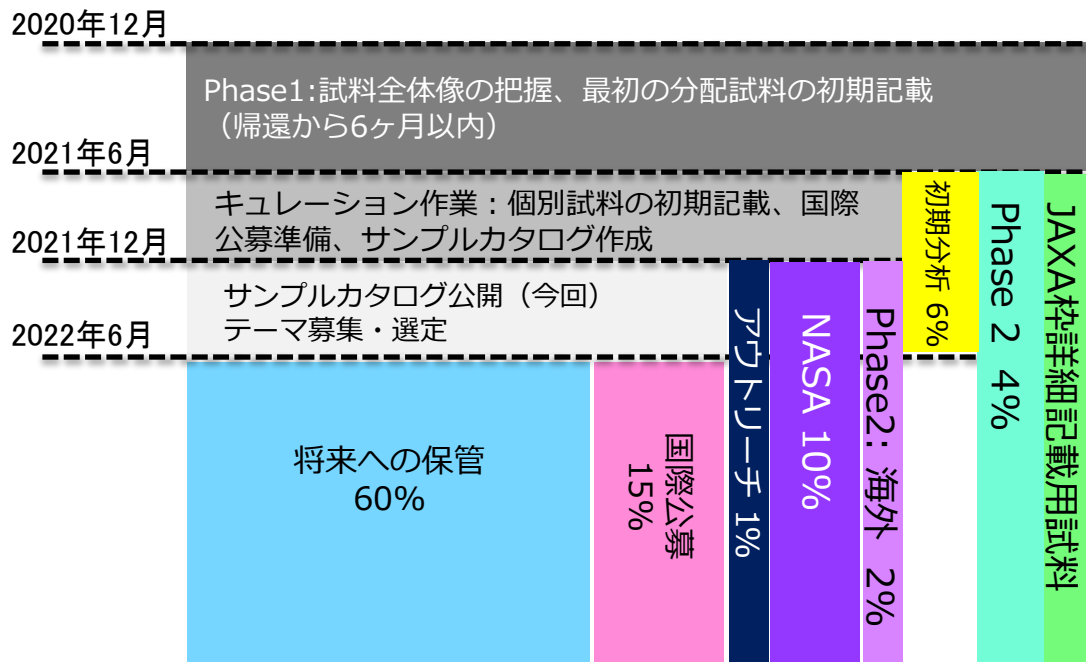


<https://jaxa-ryugu-sample-ao.net/>



キュレーションの活動状況および今後の予定

カタログをもとに国際公募を行い、2022年6月に試料分配を開始予定



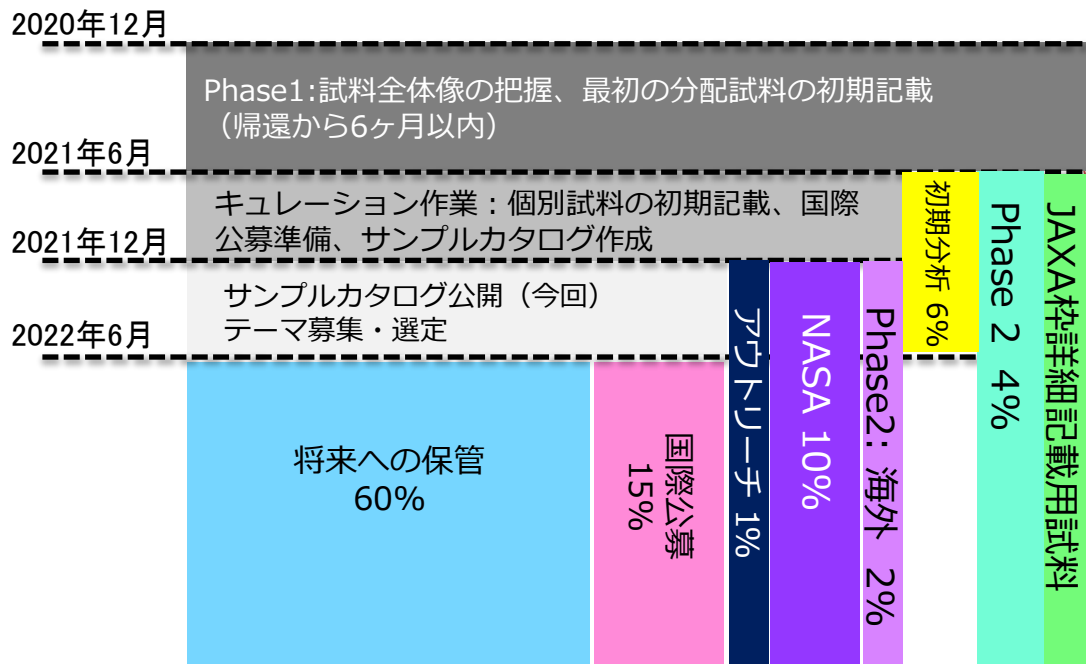
- 国際公募により研究テーマを募集
- 研究テーマは、国内外の有識者から選ばれた審査委員により評価
- 評価をもとに、研究テーマと分配試料が決定
- Hayabusa-2 Sample Allocation Committeeにより承認後、分配開始

(画像クレジット: JAXA)



キュレーションの活動状況および今後の予定

2021年6月に分配された試料の分析は計画通りに進み、順次、結果を報告予定



試料総量：約5.4 g

- A室：3.2 g
- B室：<0.1 g
- C室：2.0 g
- その他：~0.2 g

6月の試料分配量

初期分析：~0.3 g

Phase 2：~0.2 g

*分配比率は全て重量%

(画像クレジット: JAXA)



参考資料



3. 探査機運用の状況

- 拡張ミッションの運用が順調に行われている。
- 2021年12月27日にイオンエンジンを停止。2021年のイオンエンジン運転ノルマを達成した。

- イオンエンジンの運転情報を右の表に示す。
(これは、2021年12月6日の記者説明会で示したデータをアップデートしたものである。)

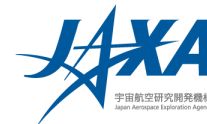
表 はやぶさ2 イオンエンジン A,B,C,D の累積実績及びはやぶさ初号機との比較

	イオンエンジン A	B	C	D	IES※1
2021 年末の累積運転時間[H]	6997	4698	9221	8943	14453
拡張ミッション期間の時間[H]	360	4687	1170	1490	5030
【参考】2020 年末の累積運転時間[H]	6637	11	8051	7453	9423
【参考】はやぶさ初号機の累積時間[H]	7	12809	11989	14830	25590
2021 年末までの総力積[MN・s]	0.0104	0.1418	0.0327	0.0434	0.2283
拡張ミッション期間の総力積[MN・s]	0.2362	0.1427	0.3075	0.3005	0.9869
【参考】はやぶさ初号機の総力積[MN・s]	0.0001	0.3221	0.2639	0.3613	0.9474

※1 イオンエンジン1台以上で動力航行を実施していた時間



JAXAのサンプルリターン探査・キュレーションの将来



- はやぶさ・はやぶさ2で獲得した優位性のもと、NASA他とのパートナーシップを結び、2020年代のSR探査およびキュレーション活動で世界をリード
- サンプルリターン探査での優位性を死守するため、**火星衛星探査計画MMXを2024年度に打上げ、2020年代中に火星圏から世界初のSRを成し遂げる。**



キュレーションチームの紹介

キュレーション：学術資料の記載・保管・管理・分配 + 技術研究開発

* JAXAでは**専門研究機関**との協力によりキュレーション活動を進めている *

Phase-1@宇宙科学研究所

試料の回収・初期記載（顕微鏡画像・重量・サイズ・形状など）・分配



sample

sample



Phase-2 責任者：中村栄三
岡山大学 惑星物質研究所
高次の詳細記載データ・キュレーション技術の供与

- ・ 地球惑星物質総合解析システム (CASTEM) による総合解析法の確立
- ・ データ管理システム (DREAM) の開発・技術供与
- ・ マルチ微量元素・同位体分析データの提供



Phase-2 責任者：伊藤元雄
JAMSTEC 高知コア研
高次の詳細記載データ・キュレーション技術の供与

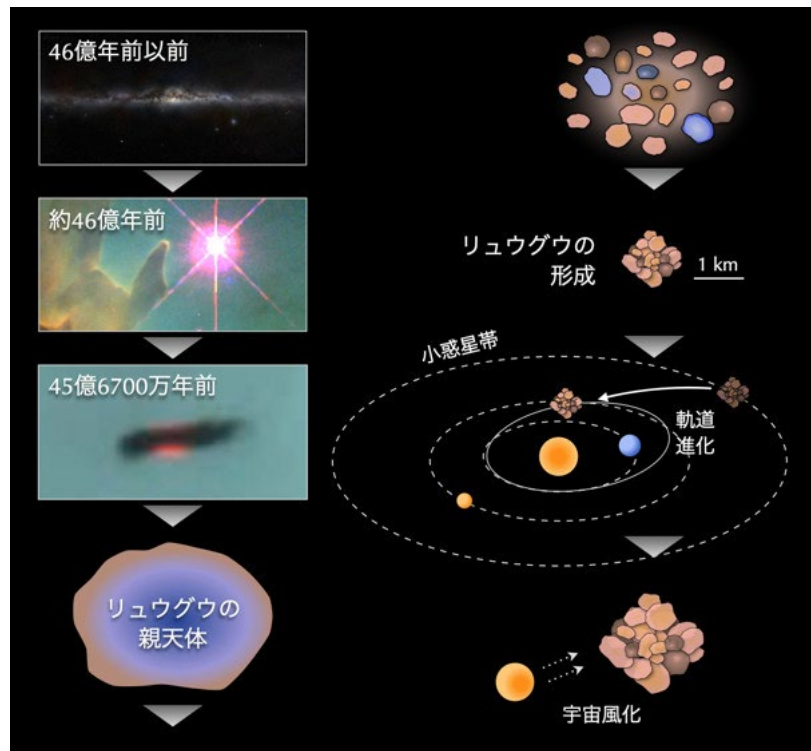
- ・ 大気非曝露用ユニバーサル試料ホルダーの開発・技術供与
- ・ 大気非曝露環境下におけるリュウグウ試料の詳細な物質科学的データ取得
- ・ 多研究機関連携 (NIPR, UVSOR, JASRI/SPRING-8など) による地球外物質リンケージ分析手法の開発と評価

初期・詳細記載、カタログ作成
保管・分配等の技術・研究開発

初期・詳細記載、カタログ作成
保管・分配等の技術・研究開発



初期分析チーム



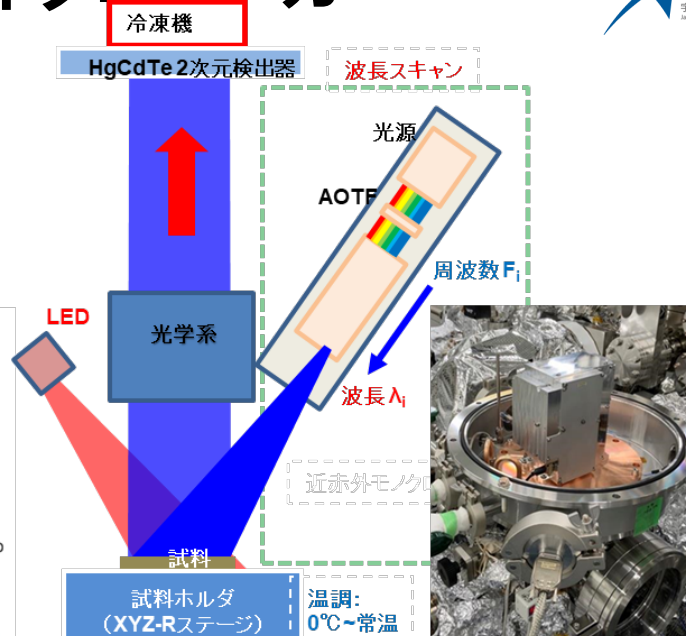
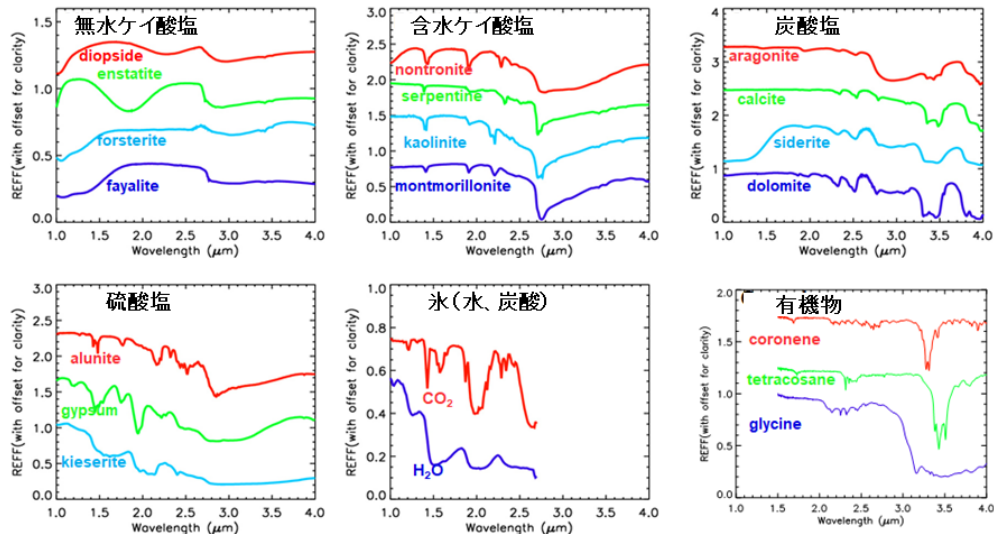
(画像クレジット: 橘省吾)

- | | |
|--------------|-------------------|
| ・統括 | 橘 省吾 (東京大学) |
| ・化学分析チーム | 塚本 尚義 (北海道大学) |
| ・石の物質分析チーム | 中村 智樹 (東北大学) |
| ・砂の物質分析チーム | 野口 高明 (京都大学/九州大学) |
| ・揮発性成分分析チーム | 岡崎 隆司 (九州大学) |
| ・固体有機物分析チーム | 薮田 ひかる (広島大学) |
| ・可溶性有機物分析チーム | 奈良岡 浩 (九州大学) |

14カ国・109の大学と研究機関・269名

赤外線分光顕微鏡マイクロオメガ

- ・ 非破壊・非汚染でのサンプル記載
- ・ バルク測定 (5x5mmエリア)
- ・ ~1mm弱のサイズまでの粒子を個別測定
- ・ ~0.1mm弱のサイズの組織まで計測



- ・ 波長範囲: 0.99-3.65 μm
- ・ 空間分解能: 22 μm /pixel
- ・ 観測エリア: 5x5mm
- ・ 小型着陸機MASCOT搭載品の発展型
- ・ 日仏協力による提供
- ・ 開発: 仏宇宙天体物理学研究所 (IAS)