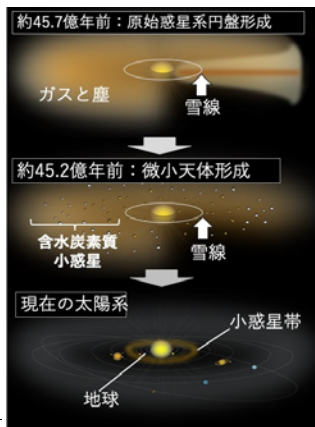


太陽系の初期進化過程

小惑星の科学的意義

小惑星は46億年前の太陽系で最初に誕生した微小天体である。したがって、小惑星を構成する岩石は太陽系の起源物質であり、太陽系の進化の情報が残っている。原始惑星系円盤の雪線(氷の凝縮温度150Kの領域)以遠では、水や炭素に富む岩石からなるC型小惑星(CはCarbonaceousの略)が形成され、それらは地球の生命や海の起源天体と考えられている。太陽系の形成進化を知る上で、C型小惑星の岩石(サンプル)を回収し有機物や含水鉱物を解析することは、第一級の科学価値がある。



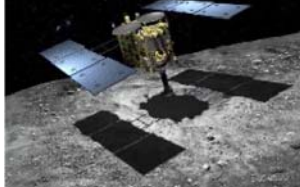
小惑星探査機はやぶさ2とC型小惑星リュウグウ

C型小惑星リュウグウは、直径900m、密度1.2g/cc(空隙率50%程度)、自転周期7.6時間(過去は3.5時間)のそばん玉形をしたラブルパイル小惑星である。

小惑星探査機「はやぶさ2」に搭載された分光計によるリモートセンシング観測により、以下が判明した。

- 1. 大変暗く、有機物に富む。
2. 水を含む。含水鉱物の吸収を示す。ただし、吸収は弱い。
3. 含水鉱物の吸収が弱いため、加熱脱水された可能性が示唆される。

小惑星探査機はやぶさ2



回収サンプルの解析から、物的証拠に基づいたC型小惑星の起源と形成プロセスが解明されることが期待される。

C型小惑星リュウグウ



中村初期分析チームの科学目標

リュウグウの形成史を岩石鉱物学的データ、スペクトルデータ、物性データから明らかにする。

- リュウグウの構成岩石、鉱物の決定とそれらの形成プロセスの推定
- 含水鉱物の種類と存在度、および含水量の推定
- 回収試料の反射スペクトル測定とリュウグウの反射スペクトルとの比較による物質分布推定
- 回収試料の物性値(熱拡散係数、破壊強度など)の測定とリュウグウの衝突破壊、再集積のモデル化
- 回収試料の粉末X線回折分析による加熱温度推定とリュウグウの加熱原因の推定

科学目標とKEKにおける分析: 小惑星リュウグウの形成進化過程の解明

我々は2021年6月から計16日間、リュウグウサンプルの初期分析を行い、サンプルの岩石鉱物学および化学的特徴を調べている。図1に示すような小惑星Ryuguの形成進化のプロセスを解明することが大きな科学目標である。

KEKでは、多くのリュウグウ粒子に対し、放射光X線回折実験を行い、個々の粒子を構成する含水鉱物の特性や存在度から、リュウグウにおける水質変成条件やその後の加熱条件を推定することを目指している。

リュウグウはラブルパイル型小惑星であり(右下に解説)個々の粒子の特徴を調べることで、破壊前のリュウグウ母天体で起こった水質変成や加熱変成が天体スケールでどのように起こったかを理解することができる。

2021年6月にビームライン3Aで行ったリュウグウサンプルのX線回折実験の結果から、リュウグウがどのような鉱物で形成されているか、その鉱物組み合わせや存在度、リュウグウの天体内部では、どのような水質変成が起こっていたのか(図2を基に考察)、また、その後の加熱温度(図3を基に考察)を解明していきます。

KEKにおける分析結果は、現在論文出版前であることから、掲載できません。申し訳ありません。

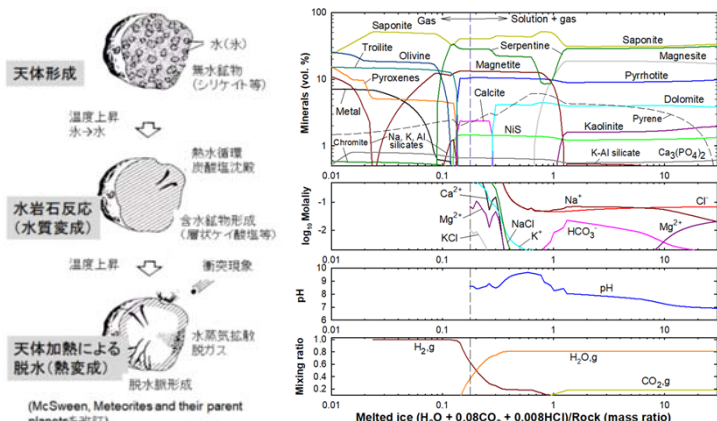
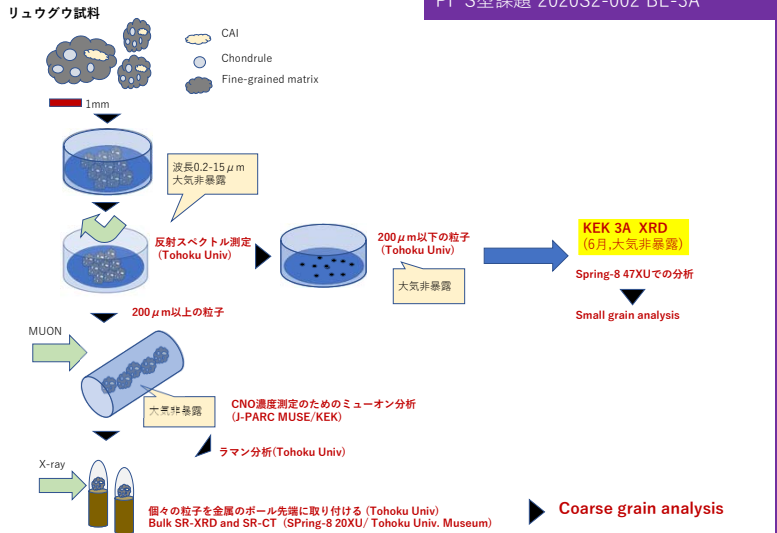
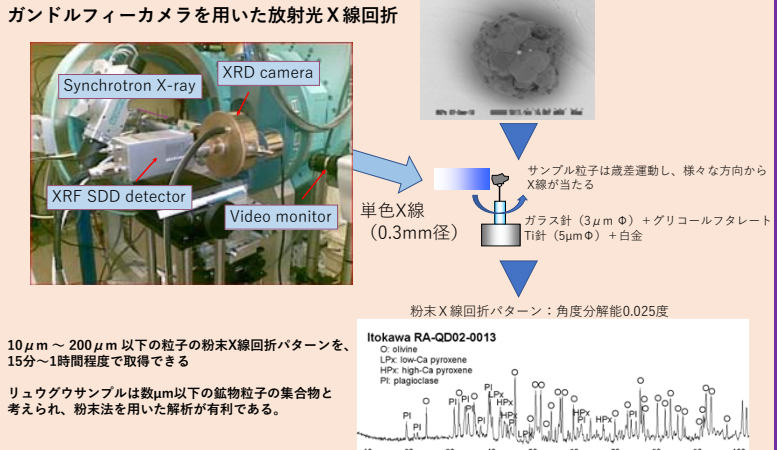


図2 鉱物組み合わせと相対存在度に基づく水質変成の条件推定 (Zolotov and Nakamura et al. 2022)

中村初期分析チームによる分析フロー



KEK 3Aにおける実験手法



1999年から20年間、改良を重ねながらKEKで実験を行ってきた。数多くの新しい発見をし、多数の論文を出版してきた(データベース登録済み)。したがって、X線回折実験は確実に遂行し最良のデータを取得できる。

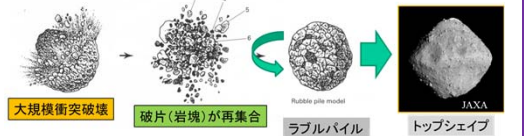
リュウグウサンプルは地球大気中の酸素や水分と反応する鉱物が含まれている可能性が高い。粘土鉱物(サポナイト)、硫酸塩鉱物(ジブサムなど)、硫化物鉱物(CaSなど)である。これらの鉱物を小惑星にある状態で検出、特性化をする必要があるため、サンプルを大気に触れさせずにX線回折実験を行うことが重要である。

窒素置換したグローブボックス内でのサンプル交換

- リュウグウ粒子を大気に曝さず分析するには、窒素置換したグローブボックス内でサンプルをカメラに設置、封入する必要がある。また、分析後も、グローブボックス内でサンプルを取り外し保管する必要がある。分析中はカメラ内を真空にするので、問題ない。
- KEK 4Bにグローブボックスを持ち込み、窒素置換に成功。移動型クリーンベンチを設置し、清浄な環境を達成。

リュウグウの表層の粒子の由来

リュウグウはラブルパイル型小惑星であり、最初に形成された小惑星が破壊され再集積したものである(Watanabe et al. 2019)。したがって、リュウグウ表面には元の天体の様々な場所で形成された粒子が混在して存在している。



はやぶさ2の着陸地点

- 1回目はリュウグウの赤道付近。平均的な場所。
- 2回目は、探査機から放射された金属板が小惑星に衝突し、その結果できた直径10m程度のクレータの近くに着陸。この場所は、クレータから放出された物質が堆積していることが確認されており、クレータ内部の太陽光や太陽風にさらされていないフレッシュな物質を回収できた可能性が高い。

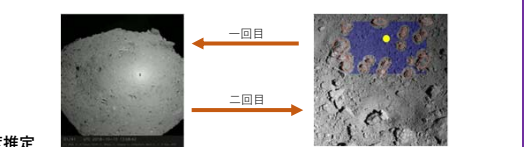


図3 放射光XRDを用いた個々のリュウグウ粒子の加熱温度推定