

## リガク、はやぶさ2「リュウグウ」試料を分析 波長分散型蛍光 X 線分析で炭素、酸素を含む 20 元素の元素組成を明らかに 熱分析では水分測定で隕石との違いを発見

X線分析・検査機器のトップメーカーである株式会社リガク(本社:東京都昭島市、代表取締役社長:池田俊幸、以下「リガク」)は、リュウグウ試料に含まれることが想定される元素について波長分散型蛍光 X 線分析装置 ZSX Primus IV で含有率を決定し、さらに示差熱天秤ーガスクロマトグラフィー質量分析同時測定システムが CI コンドライト隕石とリュウグウ試料の違いを明らかにしました。

今後、世界中の研究グループによって様々な解析が行われるリュウグウサンプルですが、そのための指標となるデータをリガクが出したことになります。

リガクの分析結果は、はやぶさ2ミッション初期分析チームの化学分析チーム(チームリーダー=塚本尚義・北海道大学教授)による論文に示され、米国科学雑誌 Science に日本時間 2022 年 6 月 10 日(金)午前 3 時(オンライン)に掲載されました。

### 「リュウグウ」試料分析プロジェクトへの参加の経緯

地球の水はどこから来たのか。生命を構成する有機物はどこでできたのか。太陽系で最初にできたと考えられる微惑星が衝突や破壊、合体を繰り返して、どのように惑星が生まれたのか。地球から最も近い小惑星帯に存在するC型小惑星リュウグウには、約 46 億年前に太陽系ができた頃の水や有機物が、今でも残されていると考えられています。

こうした根源的な問題を解明するため、はやぶさ2は 2020 年 12 月 6 日、リュウグウサンプル 5.4g を地球に持ち帰りました。JAXA 宇宙科学研究所は初期記載(カタログ化)を行い、帰還試料は現地での撮像観測から知ることができた小惑星全体の特徴を反映しており、水・有機物に富む始原的な特徴を持つことを明らかにしました。また、既知の隕石と比べ、最も太陽の組成と近い始原的な隕石と似ていますが、より暗く、比重が小さいという特徴を持っていました。

日本を中心に 14 カ国、134 の大学と研究機関、384 名が参加する初期分析は、2021 年 6 月に開始されました。初期分析チーム(全体総括=橋省吾・東京大学教授)は、6 つのサブチームで構成され、化学分析、石の物質分析、砂の物質分析、揮発性成分分析、固体有機物分析、可溶性有機物分析の各サブチームで構成されています。

今回、化学分析チームは、主成分分析メンバーとして国内蛍光 X 線分析装置メーカーの中から選抜コンペを実施し、隕石を含む微量岩石試料を加圧成形せずに分析する課題をクリアしたリガクが、2019 年 6 月に共同研究者としてプロジェクトに参画することになり、他社装置では困難な炭素分析についても、期待されることになりました。

### 「リュウグウ」試料初期化学分析

2021 年 6 月に主成分分析が開始され、化学組成チーム用に提供されたリュウグウ試料は最大 100mg。そのうち 30mg が、6 月 23 日にリガク大阪工場に持ち込まれ、波長分散型蛍

光 X 線分析装置である ZSX Primus IV によって化学組成・炭素量の測定を行いました。試料はその後、次の X 線分析施設に搬送され、2 次元組成分析、SPring-8 による化学状態／微量重元素分析が行われ、X 線分析を終えた試料および残りの試料は、東工大、東大、北大、UCLA など異なる手法による化学分析・同位体分析が行われました。

### **波長分散型蛍光 X 線分析装置 ZSX Primus IV による分析結果**

リガクは、ZSX Primus IV による波長分散型蛍光 X 線分析を行うため、分析の約1年前から準備を開始し、装置の真空系と試料搬送系に改良を行い、実験と機器の試作を繰り返し、最適な真空条件を決定しました。その結果、通常の方法では測定できない岩石の粉のような微量試料の測定を可能にしました。また、元素の定量に必要な標準試料を入念に選定し、未知試料の分析に備えることで、C、O、Na、Mg、Al、Si、P、S、Cl、K、Ca、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn の 20 元素の組成を明らかにしました。

リガクで分析を担当した本間 寿(ホンマ ヒサシ)理学博士は、今回の分析結果について次のようにコメントしています。

「化学分析チームが分析した 66 元素のうち、パーセント以上の主成分と、数十 ppm 以上のマイナー元素の合計 20 元素について含有率を求めることができました。ICP-MS でも計測できない成分も ZSX Primus IV で分析していますので、波長分散型蛍光 X 線分析装置が主要なツールであることを示すことができました。元素組成は、今後、リュウグウの詳細研究、小惑星試料を研究するために、必ず必要な基礎データになります。このような分析に関わったことは貴重な体験になりました。」

### **示差熱天秤-ガスクロマトグラフィー質量分析同時測定装置による分析結果**

さらに8月には東京工場に約1mg のリュウグウ試料が持ち込まれ、示差熱天秤—ガスクロマトグラフィー質量分析同時測定システム(TG-DTA/GC-MS)による測定が行われました。測定の結果、CI コンドライト隕石とリュウグウ試料とでは、含まれている水の存在状態が異なることが明らかになりました。これまで、最も始原的で太陽系の元素組成を反映していると考えられてきた CI コンドライトですが、地球に落下して回収されるまでの間になんらかの改変を受けている可能性が今回の結果から示されました。一方、リュウグウ試料は地球の物質の影響を受けておらず、宇宙空間での状態を保持していると考えられます。これは太陽系形成史や地球の水起源などの宇宙科学研究にとって、リュウグウ試料が非常に高い価値を持つことを意味しています。

「リュウグウ」試料分析にリガクの熱分析装置が役立ったことについて、取締役専務執行役員 真田 佳幸(サナダ ヨシユキ)は、「リガクの熱分析の中で発生ガス分析は様々な GC-MS との連携により多様なアプリケーションの経験があります。地球の生命を構成する元素がどこから来たか、また同じく生命誕生に必須であった水は何処から来たかは、地球惑星科学や天文学の分野でもホットなテーマであり、弊社の分析装置と分析技術を通じて、日本が得意とするサンプルリターンの成果に貢献できたことを光栄に思っています。」

と述べています。

リガクの分析結果を含めた化学分析チームの成果は Science 誌に掲載されたほか、今後、Goldschmidt Conference 2022(7月), MetSoc2022(8月)など、国際学会での報告が予定されています。

#### **波長分散型蛍光 X 線分析装置 ZSX Primus IV**

上面照射型の走査型蛍光 X 線分析装置です。測定・解析をサポートする“ZSX Guidance”を備え、初心者の方でも簡単に正確な分析結果が得られます。デジタル計数システムや高速駆動のゴニオメーター、最適化された制御システムにより、高速・高精度測定を実現。人工多層累積膜や真空制御機構により超軽元素測定も可能です。ヒューマンエラー防止機能などの安心・安全設計、ポイント・マッピング分析や散乱線 SQX 機能も搭載したハイスペックモデルです。

#### **示差熱天秤ーガスクロマトグラフィー質量分析同時測定システム(TG-DTA/GC-MS)**

加熱時の反応に伴う物質の重量変化だけでなく、熱分析だけでは判断が困難な化学反応情報が、同時にしかも高感度で得られます。新素材開発、製造技術確立、品質管理、基礎研究を強力にサポートするために不可欠なツールです。各メーカーの MS, GC-MS と接続可能で、トータルシステムとして技術サポートします。水蒸気雰囲気下の測定にも対応します。

JAXA 宇宙科学研究所 プレスリリース:

[https://www.jaxa.jp/press/2022/06/20220610-2\\_j.html](https://www.jaxa.jp/press/2022/06/20220610-2_j.html)

JAXA 宇宙科学研究所 関連ページ:

<https://www.hayabusa2.jaxa.jp/>

掲載誌: Science

DOI:10.1126/science.abn7850

リガク 関連ページ : <https://www.rigaku.com/science-news/ryugu>

本リリースに関するお問合せ先:

リガク・ホールディングス株式会社

経営企画室 広報宣伝課

担当:内匠 優理香

e-mail:prad@rigaku.co.jp

TEL : 042-545-8190