

小惑星リュウグウから太陽系最古の岩石を発見

～リュウグウは太陽系遠方で形成された特異な天体であることを示唆～

ポイント

- ・小惑星「リュウグウ」から約 45 億 6,730 万年前に形成した太陽系最古の岩石を発見。
- ・「リュウグウ」を構成する原材料物質の年代測定に世界で初めて成功。
- ・太陽系の遠方領域で「リュウグウ」が形成された可能性を示し、惑星形成理論の進展に期待。

概要

北海道大学大学院理学研究院の川崎教行准教授、同大学大学院理学院修士課程の宮本悠史氏、同大学総合イノベーション創発機構の坂本直哉准教授、海洋研究開発機構の荒川創太研究員らの研究グループは、宇宙航空研究開発機構の小惑星探査機「はやぶさ 2」が小惑星「リュウグウ」から採取したサンプル中から、約 45 億 6,730 万年前に形成した太陽系最古の岩石を発見しました。

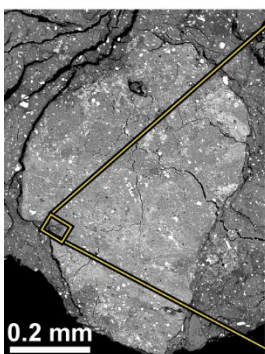
これまでの「はやぶさ 2」の初期分析により、現在の「リュウグウ」の主要構成物質は低温（約 40℃）の水溶液との反応で生成した鉱物であり、約 45 億 6,200 万年前に形成されたことが分かっていました。しかし、こうした鉱物はあくまで水溶液との反応によって生成した二次的な物質であり、もともと存在していた原材料物質（リュウグウを形成した最初期の固体物質）の形成年代は不明でした。

本研究では、「リュウグウ」のサンプル中に、初期太陽系の高温領域（約 1,000℃以上）で形成された原材料物質である「CAI（カルシウム・アルミニウムに富む包有物）^{*1}」を発見しました。この「CAI」の年代を、北海道大学の同位体顕微鏡（二次イオン質量分析計）による Al-Mg 放射年代測定法^{*2}で精密に調べた結果、太陽系誕生直後の約 45 億 6,730 万年前に形成されたことが判明しました。

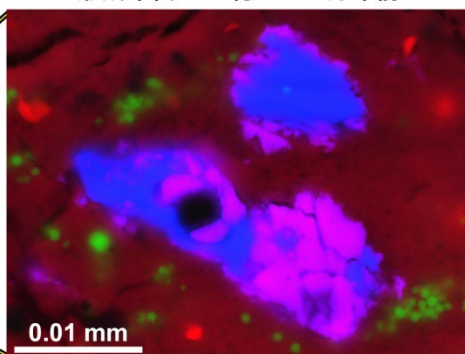
今回の発見により、「リュウグウ」が太陽系の誕生直後に形成された高温物質を取り込んでいることが初めて示されました。一方で、「リュウグウ」や同型の隕石（イヴナ型炭素質隕石）から発見された CAI はとても小さくどれも 0.1 mm 以下で、他の炭素質隕石に見られる大型（約 0.1-10 mm 以上）の CAI が存在しないことから、「リュウグウ」は太陽系の遠方で形成された特異な天体である可能性が高いと考えられます。これらの成果は、太陽系の天体がどのように誕生し、進化してきたのかを理解するうえで重要な手がかりとなり、惑星形成理論のさらなる進展が期待されます。

なお、本研究成果は、2025 年 7 月 16 日（水）、Communications Earth & Environment 誌にオンライン掲載されました。

「リュウグウ」サンプル
Sample ID: C0006



太陽系最古の岩石「CAI」
形成年代：45 億 6730 万年前



小惑星「リュウグウ」から見つかった太陽系最古の岩石「CAI」。Al-Mg 放射年代測定法により、太陽系誕生直後の約 45 億 6,730 万年前に形成されたことが判明。データは電子顕微鏡により取得した Mg（赤）—Ca（緑）—Al（青）の合成 X 線元素マップ。

（©Kawasaki et al. 2025）

【背景】

天体の原材料物質を調べることは、天体の起源を探る重要な手がかりとなります。これまでの「はやぶさ 2」による初期分析から、小惑星「リュウグウ」は主に低温（約 40°C）の水溶液から生成した鉱物で構成され、それらは約 45 億 6,200 万年前に形成されたことが分かっていました。こうした鉱物は、「リュウグウ」の内部で氷が溶けて生じた水溶液が、もともと存在していた原材料物質（リュウグウを形成した最初期の固体物質）を二次的に変質させて生成したものです。しかし、これらはあくまで現在の「リュウグウ」の主要な構成物質であり、「リュウグウ」を作った最初期の原材料物質そのものが「いつ」形成されたのかは、これまで明らかになっていませんでした。

【研究手法】

「はやぶさ 2」が採取した「リュウグウ」のサンプルについて、北海道大学の走査電子顕微鏡で形状観察や化学組成の分析を行い、年代測定が可能な原材料物質を探索しました。さらに、その原材料物質の年代測定を、北海道大学の同位体顕微鏡（二次イオン質量分析計）を用いた Al-Mg 放射年代測定法によって実施しました。

【研究成果】

本研究では、「リュウグウ」のサンプル中に、初期太陽系の高温領域（約 1,000°C 以上）で形成された「CAI（カルシウム・アルミニウムに富む包有物）」を発見しました。鉱物学的観察の結果、この「CAI」は水溶液から生成した鉱物と混ざり合っており、「リュウグウ」の原材料物質の生き残りであることが判明しました。また、この「CAI」の鉱物の年代測定を実施したところ、太陽系誕生直後の約 45 億 6,730 万年（±20 万年）前に形成されたことが明らかになりました（図 1）。「リュウグウ」の原材料物質の年代測定に成功したのは、本研究が世界で初めてです。

今回の発見により、「リュウグウ」が太陽系の誕生直後（約 45 億 6,730 万年前）に形成された高温物質を取り込んでいることが示されました。なお、現在の「リュウグウ」の構成物のほとんどは、その数百万年後に形成されたものです。

一方で、「リュウグウ」や同型の隕石（イヴナ型炭素質隕石）で発見された CAI はどれも 0.1 mm 以下で小さく（P1 図）、他の炭素質隕石に多数見られる大型（約 0.1-10 mm 以上）の CAI が存在しないことも判明しました。この違いは、初期太陽系における固体物質の輸送過程に関連していると考えられます。具体的には、固体物質をせき止める役割を果たした原始木星による圧力バンプ*3の影響を受けない領域で、「リュウグウ」の母天体が形成した可能性が高いと推察されます。つまり、「リュウグウ」は、太陽系の遠方で形成された特異な天体であると言えます。

【今後への期待】

今回の成果は、太陽系の天体がどのように誕生し、進化してきたのかを理解するうえで重要な手がかりとなり、惑星形成理論のさらなる進展が期待されます。また、同研究グループは米国 NASA が同じく炭素質の小惑星「Bennu（ベヌー）」より持ち帰ったサンプルの観察・分析も進めており、「リュウグウ」と「ベヌー」の関連性の解明が期待されます。

【謝辞】

本研究で使用した「リュウグウ」のサンプルは、宇宙航空研究開発機構の第3回国際公募にて配布されたものです。本研究では、日本学術振興会（JSPS）科研費 JP22K18722、JP24KK0072、JP25H00678 の助成、並びに公益財団法人日揮・実吉奨学会 2024 年度研究助成を受けました。

論文情報

論文名 Solar System's earliest solids as tracers of the accretion region of Ryugu and Ivuna-type carbonaceous chondrites（太陽系最古の固体物質から制約するリュウグウとイブナ型炭素質隕石の集積領域）
著者名 川崎教行^{1*}、荒川創太²、宮本悠史³、坂本直哉⁴、山本大貴⁵、Sara S. Russell⁶、垰本尚義¹
（¹ 北海道大学大学院理学研究院、² 海洋研究開発機構数理科学・先端技術研究開発センター、³ 北海道大学大学院理学院、⁴ 北海道大学総合イノベーション創発機構、⁵ 九州大学大学院理学研究院、⁶ ロンドン自然史博物館）（*責任著者）
雑誌名 Communications Earth & Environment（地球科学・環境科学の専門誌）
DOI 10.1038/s43247-025-02511-x
公表日 2025 年 7 月 16 日（水）（オンライン公開）

お問い合わせ先

北海道大学大学院理学研究院 准教授 川崎教行（かわさきのりゆき）

T E L 011-706-3586 メール kawasaki@eis.hokudai.ac.jp

北海道大学総合イノベーション創発機構 准教授 坂本直哉（さかもとなおや）

T E L 011-706-9147 メール naoya@cris.hokudai.ac.jp

海洋研究開発機構数理科学・先端技術研究開発センター 研究員 荒川創太（あらかわそうた）

T E L 045-778-5267 メール arakawas@jamstec.go.jp

配信元

北海道大学社会共創部広報課（〒060-0808 札幌市北区北 8 条西 5 丁目）

T E L 011-706-2012 F A X 011-706-2092 メール jp-press@general.hokudai.ac.jp

海洋研究開発機構海洋科学技術戦略部報道室（〒236-0001 横浜市金沢区昭和町 3173-25）

T E L 045-778-5690 メール press@jamstec.go.jp

【参考図】

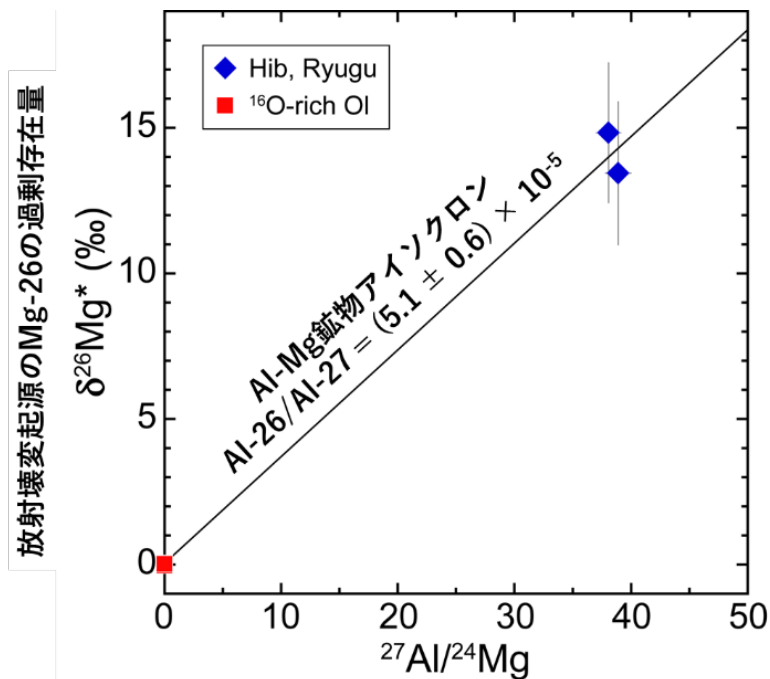


図 1. 「リュウグウ」の CAI の年代測定データ。縦軸は、Al-26 の放射壊変により生成した Mg-26 の過剰存在量に対応する。CAI の鉱物ヒポナイトは Mg-26 の有意な過剰を示す。Al-Mg 鉱物アイソクロン法から、CAI 形成時の Al-26/Al-27 存在比は $(5.1 \pm 0.6) \times 10^{-5}$ であったと見積もられる。「リュウグウ」の CAI は 45 億 6,730 万年 (± 20 万年) 前に形成したことが判明した。

【用語解説】

- * 1 CAI (カルシウム・アルミニウムに富む包有物) … 小惑星サンプルや隕石に含まれる、カルシウムとアルミニウムに濃集した固体物質。初期太陽系の高温のガスから凝縮した。
- * 2 Al-Mg 放射年代測定法 … 放射性同位体 Al-26 が半減期約 70 万年で Mg-26 に放射壊変することを利用した年代測定法のこと。初期太陽系で形成した物質の年代を精密に測定することができる。
- * 3 圧力バンプ … 初期太陽系円盤内でガスの圧力が局所的に高くなる領域のこと。固体物質の移動を妨げ、物質の集積や分布に影響を与える。巨大惑星の形成が原因の一つと考えられている。