

はやぶさ 2 リターンサンプル C0002 粒子に含まれる様々な岩相の 電子顕微鏡観察と放射光ナノ CT 分析

松本恵* (東北大学), 松野淳也 (立命館大学), 土山明 (立命館大学, 中国科学院广州地球化学研究所), 中村智樹 (東北大学), 三河内岳 (東京大学), 安武正展 (SPring-8/JASRI), 上杉健太朗 (SPring-8/JASRI), 竹内晃久 (SPring-8/JASRI), 延寿里美 (愛媛大学), 奥村翔太 (京都大学), 三津川到 (京都大学), 孫銘琦 (中国科学院广州地球化学研究所), 榎戸祐馬 (東北大学), 三宅亮 (京都大学), 坂本尚義 (北海道大学), 野口高明 (京都大学), 岡崎隆司 (九州大学), 藪田ひかる (広島大学), 奈良岡浩 (九州大学), 坂本佳奈子 (JAXA/ISAS), 橋省吾 (東京大学), 渡邊 誠一郎 (名古屋大学), 津田雄一 (JAXA/ISAS)

Mineralogical investigation of multiple lithologies in the Hayabusa2 returned sample C0002 grain using SEM, TEM, and X-ray nanoCT

M. Matsumoto* (Tohoku Univ.), J. Matsuno (Ritsumeikan Univ.), Akira Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem., CAS), T. Nakamura (Tohoku Univ.), T. Mikouchi (Univ. Tokyo), M. Yasutake (SPring-8/JASRI), K. Uesugi (SPring-8/JASRI), A. Takeuchi (SPring-8/JASRI), S. Enju (Ehime Univ.), S. Okumura (Kyoto Univ.), I. Mitsukawa (Kyoto Univ.), S. Mingqi (Guangzhou Inst. Geochem., CAS), Y. Enokido (Tohoku Univ.), A. Miyake (Kyoto Univ.), H. Yurimoto (Hokkaido Univ.), T. Noguchi (Kyoto Univ.), R. Okazaki (Kyushu Univ.), H. Yabuta (Hiroshima Univ.), H. Naraoka (Kyushu Univ.), K. Sakamoto (JAXA/ISAS), S. Tachibana (Univ. Tokyo), S. Watanabe (Nagoya Univ.), Y. Tsuda (JAXA/ISAS)

リュウグウは、ラブルパイル型小惑星であり、前駆母天体が破碎し生成した破片が再集積して形成したと考えられている[e.g., 1]。探査機はやぶさ 2 が地球に持ち帰ったリターンサンプルの初期分析では、大小様々なサイズのリュウグウ表層粒子が分析され、CI コンドライトによく似た化学的・岩石学的特徴をもつことが明らかとなっている[e.g., 2, 3]。また多くの粒子は、特徴の異なる複数の岩相からなる角礫岩組織を示す[e.g., 2, 3]。これらの岩相は、リュウグウ前駆母天体内の異なる場所で形成した可能性があり、それぞれを詳細に分析することで、前駆母天体の形成・進化過程に関する情報が得られると期待される。本研究では、初期分析試料のうち最も大きな C0002 粒子 (~8 mm) の切断研磨片 plate 6 に含まれる岩相について、走査型電子顕微鏡 (SEM)、SPring-8 BL47XU の放射光ナノ CT、透過型電子顕微鏡 (TEM) 分析を行い、鉱物学的特徴を調べた。

リュウグウ粒子の主要な岩相は主に Mg に富む層状ケイ酸塩からなり、Fe-Ni 硫化物 (ピロータイト, ペントランダイト)、マグネタイト、炭酸塩 (ドロマイト, ブリュネライト)、アパタイト等を含む[e.g., 2, 3]。Plate 6 の大部分もこのような岩相からなるが、場所によって炭酸塩の存在量には違いが見られ、リン (P) が欠乏した領域も見られた。また、カンラン石や輝石を含み比較的水質変成度が低いと考えられる岩相、主要な岩相に比べ非常に硫黄 (S) に富む岩相もそれぞれ複数観察された。これらは主要な岩相と明瞭な境界をもつ。

本研究では、主要な岩相のうち炭酸塩、リンの分布量が異なる 4 か所、無水ケイ酸塩を含む 2 つ

の岩相、硫黄に富む 1 つの岩相について、集束イオンビーム装置を使って微小試料を作製し、放射光ナノ CT 分析と TEM 観察を行った。

主要な岩相の試料は、Mg に富む層状ケイ酸塩 (サポナイトとサーペンティンからなる) の特徴から次の 2 つの部分に分けられる: (1) 比較的結晶性が高く (結晶サイズ >~200 nm) ややサーペンティンの量比が高い領域、(2) 結晶性が低いかつサポナイトの量比がやや高く、多数の Fe-Ni sulfide 微粒子 (数十~数百 nm サイズ) と共存する部分。

(1) と (2) の量比には試料間で差が見られた。また、Fe-Ni sulfide 微粒子の一部は縁から層状ケイ酸塩に交代されており、その変質程度にも試料間で差が見られた。これら試料間の違いは、水質変成程度 (或いは変成条件) の差を反映していると考えられる。

また無水ケイ酸塩を含む 2 つの岩相は、一方は大部分が比較的結晶性の高い層状ケイ酸塩からなるのに対し、他方は大部分低結晶性の層状ケイ酸塩からなり、水質変成程度 (或いは変成条件) に違いがあることが分かった。一方、硫黄に富む岩相は主に低結晶質の層状ケイ酸塩と Fe-Ni 硫化物からなり、板状の細粒な Fe 硫化物を多く含むことが分かった。発表では、各試料の詳細な鉱物学的特徴を紹介し、それぞれの水質変成度や形成履歴について議論する。

引用文献: [1] Watanabe et al. (2019), *Science*, **364**. [2] Yokoyama et al. (2022), *Science*, 10.1126/science.abn7850. [3] Nakamura et al. (2022), *Science*, in revision.

Keywords: asteroid (162173) Ryugu, aqueous alteration, CI chondrite, X-ray CT, TEM

***Corresponding author:** m_matsumoto@tohoku.ac.jp