PR0216

XANES による化学種解析と層状ケイ酸塩中の元素組成に基づくリュウグウ母天体の水環境の推定

○河合敬宏[1]、福士圭介[2]、菅大輝[3]、上椙真之[3]、山下翔平[4]、中田亮一[5]、小池みずほ[6]、吉田英人[1]、松本恵[7]、中村智樹[7]、大浦正樹[8]、高橋嘉夫[1]
（[1]東大、[2]金沢大、[3]JASRI/SPring-8、[4]KEK-PF、[5]JAMSTEC、[6]広島大、[7]東北大、[8]理研）

【背景】C 型小惑星リュウグウの母天体は、揮発性元素を多く含み、液体の水が豊富に存在していたと考えられ、地球の水や有機物の起源を考える上で重要な研究対象である。このうち水は周囲の鉱物に様々な水質変成を引き起こし、その結果、スメクタイト（サポナイト）や蛇紋石などの層状ケイ酸塩がリュウグウの主要構成鉱物となっている(Nakamura et al., 2022; Yokoyama et al., 2022)。この過程において、リュウグウ母天体の有機物も化学反応を起こし、多種多様な有機物が合成された(Naraoka et al., 2023)。特に水中での有機物の化学反応においては、水の pH や酸化還元電位などに依存して生成物が変わるため、水質変成中の水環境の情報を得ることは重要である。一方、スメクタイトは層構造中に負電荷を持つため、水質変成の際に水相の陽イオンがスメクタイト層間に吸着する。この際、Fukushi et al. (2019)で示されたように、層間にどの陽イオンが保持されるかは、共存する水相中の各種陽イオン濃度と選択係数 K に依存するため、各種分析法で求めた層間陽イオン比から、水質変成当時の水層中の陽イオン組成を推定できる。これらの溶存イオン組成の情報や鉱物中の Fe^{2+}/Fe^{3+}比は、水質変成時の水相の pH や Eh により変化すると考えられる。そこで本研究では、リュウグウ試料中の種々の元素の XANES による化学種解析と層状ケイ酸塩中の元素組成に基づき、リュウグウ母天体の水環境を推定することを試みた。

【試料・実験】Ryugu sample AO (第 1 回)で配布を受けたリュウグウ試料 C0120 粒子を実験に用いた。この粒子を嫌気下でダイヤモンドソーで切断した試料や FIB 加工した試料を SPring-8 BL17SU、KEK Photon Factory BL-19A の X 線顕微鏡で分析し、蛍光法あるいは透過法で局所 XANES を得た。また SPring-8 BL27SU、Photon Factory BL-9A および BL-19B でバルク XANES 分析を行った。分析した吸収端は Mg K 端、Fe $L_{2,3}$ 端、Na K 端、Ca $L_{2,3}$ 端および K 端、Cl K 端、K K 端であり、想定される化学種（サポナイト吸着試料など）のスペクトルを用いた線形フィッティングから、これら元素の局所およびバルクの化学種解析を行った。次に試料の一部を Epofix 樹脂に埋め込み、乾式研磨により得た平滑面について EPMA による分析で、層状ケイ酸塩領域の化学組成分析を行った。

【結果と考察】バルク XANES 測定の結果、(i) 水/岩石比の低下により生成した塩化物化学種は NaCl でなく $MgCl_2$ が主であること、(ii) Na および K の大部分はサポナイト吸着態として存在すること、(iii) Ca の多くはドロマイトやアパタイトとして存在するものの約 15%がサポナイトに吸着態として存在すること、(iv) Mg の XANES は層状ケイ酸塩構造中の Mg の影響が大きく、層間の Mg の同定は困難であること、などが分かった。また X 線顕微鏡による層状ケイ酸塩中のこれら元素の分析からも同様のことが示唆された。これらの結果から、Na、K、Ca がサポナイト層間に存在することが分かり、EPMA 分析を組み合わせ、さらに Al/(Si+Al)比がサポナイト 4 面体層中の負電荷量を反映すると仮定し、Na、K、Ca 以外の層間陽イオンは Mg^{2+}と仮定すると、サポナイト層間のこれら陽イオンの組成比を推定できる。これらの結果とスメクタイトに対する各陽イオンの選択係数、水/岩石比、炭酸塩の溶解度積など考慮することで、リュウグウ母天体中の水環境の情報を推定する。

Estimation of the aqueous environment of the Ryugu's parent body based on the chemical analysis

*T. Kawai[1], K. Fukushi[2], H. Suga[3], M. Uesugi[3], S. Yamashita[4], R. Nakada[5], M. Koike[6], H. Yoshida[1], M. Matsumoto[7], T. Nakamura[7], M. Ohura[8] and Y. Takahashi[1], ([1]The Univ. of Tokyo, [2]Kanazawa Univ., [3]JASRI/SPring-8, [4]KEK-PF, [5]JAMSTEC, [6]Hirosima Univ., [7]Tohoku Univ., [8]RIKEN)