

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[R5-11]

Investigation of sodium salt minerals in Ryugu samples

*Toru MATSUMOTO¹, Takaaki Noguchi², Akira Miyake² (1. Kyoto Univ. Hakubi, 2. Kyoto Univ. Sci.)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[R5-12]

On the relationship between the proportion of different lithological fragments composing the asteroid Ryugu samples and CI chondrites and the inner structure of the parent body

*Takashi MIKOUCHI¹, Minami Masuda², Hideto Yoshida², Michel E. Zolensky³, Tomoki Nakamura⁴ (1. Univ. Museum, Univ. of Tokyo, 2. Grad. Sch. Sci., Univ. of Tokyo, 3. NASA-JSC, 4. Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[R5-13]

Bulk Density, Porosity, and Fe/Mg Ratio of Bennu Particle Matrices: Comparison with Ryugu and Carbonaceous Chondrites.

*Akira TSUCHIYAMA¹, Megumi Matsumoto², Masanori Yasutake³, Junya Matsuno⁴, Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³, Toru Matsumoto⁵, Haruka Ohno⁶, Mingqi Sun⁷, Tomoyo Morita², Shogo Tachibana⁸, Harlord C Connolly⁹, Dante S Lauretta¹⁰ (1. Ritsumeikan Univ. ROST, 2. Tohoku Univ. Sci., 3. JASRI/SPRING-8, 4. Kyoto Univ. ICR, 5. Kyoto Univ. Hakubi, 6. Kyoto Univ. Sci., 7. CAS/GIG, 8. Univ. Tokyo Sci., 9. Rowan Univ., 10. Univ. Arizona)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[R5-14]

A highly primitive asteroid Bennu particle preserving dust from the early solar system

*Megumi MATSUMOTO¹, Akira Tsuchiyama^{2,3}, Masahiro Yasutake⁴, Toru Matsumoto⁵, Tomoyo Morita¹, Daisuke Nakashima¹, Haruka Ohno⁵, Shogo Tachibana⁶, Harold C. Connolly^{7,8,9}, Dante S. Lauretta⁸ (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG/CAS, 4. JASRI/SPRING-8, 5. Kyoto Univ., 6. Univ. Tokyo, 7. Rowan Univ., 8. Univ. Arizona, 9. American Museum of Natural History)

🎤 Invited Lecture

3:00 PM - 3:30 PM JST | 6:00 AM - 6:30 AM UTC

[R5-15]

Anhydrous primary minerals in Ryugu and Bennu samples

*Noriyuki Kawasaki¹, Toru Matsumoto², Sota Arakawa³, Yushi Miyamoto¹, Naoya Sakamoto¹, Daiki Yamamoto⁴, Sara S. Russell⁵, Jessica Barnes⁶, Ann Nguyen⁷, Harold C. Connolly^{6,8}, Dante S. Lauretta⁶, Hisayoshi Yurimoto¹ (1. Hokkaido Univ., 2. Kyoto Univ., 3. JAMSTEC, 4. Kyushu Univ., 5. NHM, 6. University of Arizona, 7. NASA, 8. Rowan Univ.)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[2Oral201-09-6add]

休憩

◆ Invited Lecture

3:45 PM - 4:15 PM JST | 6:45 AM - 7:15 AM UTC

[R5-16]

Search for the signatures of water from oxygen isotopic systematics of nominally anhydrous minerals

*Takayuki Ushikubo¹ (1. JAMSTEC)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[R5-17]

An attempt to identify mineral nanofragmentation as the mark of multiple low-intensity impacts in carbonaceous chondrites

*Balazs Bradak¹, Yusuke Seto², Sena Toyonaga¹, Akos Kereszturi³, Martin Chadima⁴ (1. Kobe University, 2. Osaka Metropolitan University, 3. Hungarian Academy of Sciences, 4. AGICO)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[R5-18]

History of presolar SiC grains in circumstellar space

*Hisayoshi YURIMOTO¹, Ken-ichi Bajo¹, Tatsuki Izumi¹, Yuta Otsuki¹, Sachiko Amari² (1. Hokkaido University, 2. Washington University)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[R5-19]

An experimental simulation of the destruction processes of presolar SiC grains under low-pressure conditions

*Daiki YAMAMOTO¹, Aki TAKIGAWA², Lily ISHIZAKI², Ryosuke SAKURAI³, Yuki INOUE¹, Junji YAMAMOTO¹, Sota ARAKAWA⁴, Shogo TACHIBANA² (1. Kyushu University, 2. The University of Tokyo, 3. Japan Aerospace Exploration Agency, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

2:00 PM - 2:15 PM JST | 5:00 AM - 5:15 AM UTC

[R5-11] Investigation of sodium salt minerals in Ryugu samples

*Toru MATSUMOTO¹, Takaaki Noguchi², Akira Miyake² (1. Kyoto Univ. Hakubi, 2. Kyoto Univ. Sci.)

Keywords : Ryugu

Recent studies of Ryugu samples have reported the presence of sodium carbonates, chlorides, and sulfates, indicating that alkaline, salt-rich water in its parent body [1]. The precipitation of sodium salt minerals was likely accompanied by dynamic changes in water content and chemical composition. These minerals were also found in samples from asteroid Bennu [2], and provide a unique opportunity to gain new insights into the chemical evolution of water-rich carbonaceous asteroids. The study of sodium salt minerals has only just begun, and further investigation is required.

Methods: The surface of Ryugu sample C0071 was investigated by SEM. Several sections from these sodium-rich regions were then extracted using a FIB and subsequently examined using TEM.

Results: Ryugu grain C0071 is mainly composed of phyllosilicates (saponite and serpentine), iron- and nickel-bearing sulfides, and magnetite, indicating an aqueously altered lithology. Aggregates of sodium-rich natrite were identified on the surface of the phyllosilicates. Natrite also occurs as a vein filling the interface between the Na-Mg phosphate and the surrounding matrix. Thenardite was identified adjacent to the natrite, based on electron diffraction patterns. A calcite grain measuring about 1 μm in size is found in contact with the natrite grains.

Discussion: The sodium carbonates and sulfates may have formed by the evaporation or freezing of liquid water during the final stages of aqueous alteration. In the evaporation sequence of alkaline solution, calcite grain can form through incongruent dissolution of primary gaylussite [3], which is found in Bennu samples. Therefore, the calcite associated with natrite in the Ryugu sample could have formed during the later stages of aqueous alteration, whereas the majority of calcite in Ryugu samples formed in an early-stage product [4]. The similarity in sodium salt mineralogy between Ryugu and Bennu suggests that their brines may have evolved in comparable ways.

Reference: [1] Matsumoto, T., et al. (2024). *Nature Astronomy*, 8, 1536-1543. [2] McCoy, T. J., et al. (2025) *Nature*, 637(8048), 1072-1077. [3] Toner, J., D., et al. (2020) *PNAS*, 117. 2., 883-888. [4] Fujiya, W., et al. (2023) *Nature Geoscience*, 16.8, 675-682.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

2:15 PM - 2:30 PM JST | 5:15 AM - 5:30 AM UTC

[R5-12] On the relationship between the proportion of different lithological fragments composing the asteroid Ryugu samples and CI chondrites and the inner structure of the parent body

*Takashi MIKOUCHI¹, Minami Masuda², Hideto Yoshida², Michel E. Zolensky³, Tomoki Nakamura⁴ (1. Univ. Museum, Univ. of Tokyo, 2. Grad. Sch. Sci., Univ. of Tokyo, 3. NASA-JSC, 4. Grad. Sch. Sci., Tohoku Univ.)

Keywords : Asteroid Ryugu, Aqueous alteration, CI Chondrites, Brecciation

はじめに：これまで我々は、小惑星リュウグウ試料中に存在する様々な水質変成度を持つ岩相の存在量を定量的に解析し、CIコンドライト (Orgueil隕石) と比較を行って来た [1]。その結果、異なる岩相における角レキ岩片のサイズやその存在量は、リュウグウ試料と Orgueil隕石とではほぼ一致することが示された。これらの“CIコンドライト的”物質中に見られる水質変成度の異なる岩相の分布差異を解明することは、母天体の内部構造や起源を理解する上で極めて重要である。そこで、本発表では、既存データに新たに分析したリュウグウ試料およびCIコンドライト隕石のデータを加えたので、これらの比較結果の更新データについて報告する。試料と分析手法：本研究のデータ解析には、リュウグウ試料の初期分析「石」の物質分析とAO1により分析された (Chamber A試料の16研磨片とChamber C試料の34研磨片) リュウグウ試料合計50個の研磨片のFE-EPMA元素マップを用いた [2]。リュウグウ試料の総分析面積は59.69 mm² (Chamber A : 18.55 mm², Chamber C : 41.14 mm²) で、岩相分類には、[3] で提案された7つの岩相 (岩相I~VIとその他) を採用し、各研磨片で境界線を決めた後に、Adobe PhotoshopとImage Jによって、各角レキ片の面積を算出した。比較のため、パリ自然史博から借用したOrgueilの研磨片 (約2×2 cm) にも同じ分析を行い、総面積103.59 mm²で岩相割合を求めた。また、新しいCIコンドライトOued Chebeika 002とも比較を行ったが、岩相の境界が不明瞭で定量的な解析は行っていない。結果と考察：リュウグウ試料では、[2] で“主要な岩相”とされた岩相III (炭酸塩はドロマイトのみ) が引き続き全体のほぼ半数を占め (41.84%)、次いで、岩相II (カンラン石を含む、あまり水質変成の進んでいない岩相) も多く見られた (22.05%)。特に、岩相IIの岩片はChamber Cの研磨片にのみ存在していた [1]。Orgueilについては、これまでの分析面積65.98 mm²から、103.59 mm²へ大幅に面積が増えたが、すべての岩片は引き続き [3] で提案された岩相のいずれかに分類することができた。この結果は、この岩相分類がCIコンドライト的試料の分類に有効であることを裏付けている。さらに、新しい結果は、これまでの岩相面積比とほとんど変わらず、既報の約50 mm²の分析面積 [1] でも、これら試料における代表的な岩相比率が得られることを示している。これは、おそらく典型的な岩片サイズが約0.1 mmと微小であるためと考えられる。また、更新されたOrgueilのデータでは、以前の結果と比較して、岩相VI (炭酸塩をほとんど含まない) の比率がリュウグウ試料より高くなっている [3]。これは、リュウグウ試料はおそらく元の炭酸塩 (主にドロマイト) を保持しているのに対し、Orgueilは地球での風化によりドロマイトが溶出し、岩相IIIまたはIV (炭酸塩はドロマイト+

マグネサイト) から形成された岩相VIが相対的に増加したことが考えられる。また、リュウグウ試料とOrgueilに対し、Oued Chebeika 002では角レキ化はあまり顕著に見られない。これはこの試料では岩相I/IIが存在せず、主に岩相III、IV、V (大きなドロマイトの集合体) から構成されていることが原因と考えられる。つまり、Oued Chebeika 002の角レキ岩片は、より強い水質変成を受けた結果、泥状の性質が強かったため、角レキ後に混合した岩片の境界が不明瞭となったことが推測される。結論：本研究により、小惑星リュウグウ試料とOrgueil CIコンドライトの鉱物学的な類似性が一層明確になった。両者ともに岩相IIおよびIIIの岩片を豊富に含み、元天体の破壊後に中程度の水質変成を受けた岩相が主要な再堆積物として再集積されたことが示唆される。これらの材料は、親天体の表層近くの層から中間層にかけて由来していると考えられる [1]。一方で、Oued Chebeika 002は表層物質をほとんど含まず、主に中間層の物質から構成されていることが示された。文献：[1] Masuda M. et al. (2025) LPS LVI, #2090. [2] Nakamura T. et al. (2022) Science 10.1126/science.abn8671. [3] Mikouchi T. et al. (2022) JAXA Hayabusa Symp. 2022, S22-01.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

2:30 PM - 2:45 PM JST | 5:30 AM - 5:45 AM UTC

[R5-13] Bulk Density, Porosity, and Fe/Mg Ratio of Benu Particle Matrices: Comparison with Ryugu and Carbonaceous Chondrites.

*Akira TSUCHIYAMA¹, Megumi Matsumoto², Masanori Yasutake³, Junya Matsuno⁴, Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³, Toru Matsumoto⁵, Haruka Ohno⁶, Mingqi Sun⁷, Tomoyo Morita², Shogo Tachibana⁸, Harlord C Connolly⁹, Dante S Lauretta¹⁰ (1. Ritsumeikan Univ. ROST, 2. Tohoku Univ. Sci., 3. JASRI/SPring-8, 4. Kyoto Univ. ICR, 5. Kyoto Univ. Hakubi, 6. Kyoto Univ. Sci., 7. CAS/GIG, 8. Univ. Tokyo Sci., 9. Rowan Univ., 10. Univ. Arizona)

Keywords : X-ray nanotomography, SPring-8, OSIRIS-REx mission, Hayabusa2 mission, CI chondrites

We determined the matrix bulk density, porosity, and Mg# [Mg/(Mg + Fe) atom ratio] of particles returned from asteroid Benu by the OSIRIS-REx mission [1], and we compared them with those of other aqueously altered carbonaceous astromaterials, including asteroid Ryugu and chondrites. The analyzed Benu particles (5–50 μm) were picked from unsorted aggregate samples (OREX-803143-0, OREX-803118-0), either directly or by FIB extraction from larger particles. At SPring-8 beamline BL47XU, 3D X-ray computed tomography images were acquired at 7 and 7.35 keV (absorption contrast) and 8 keV (phase contrast), with a spatial resolution of ~200 nm [2]. Our calculations assumed that the matrix is composed of phyllosilicates, organic matter, and pores based on the Benu matrix mineralogy [1], using the linear attenuation coefficients and refractive index decrement (proportional to density). The matrix properties of the aqueously altered samples were as follows:

Benu (N= 16): bulk density = 1.6 ± 0.3 (1.2–2.3) g/cm³, porosity = 39 ± 12 (16–57) %, Mg# = 0.77 ± 0.11 (0.48–0.91)

Ryugu (N = 72): 8 ± 0.2 (1.4–2.2) g/cm³, 32 ± 9 (18–48) %, 0.83 ± 0.06 (0.66–0.93)

CI (N = 16): 1 ± 0.1 (1.9–2.3) g/cm³, 22 ± 5 (12–31) %, 0.79 ± 0.06 (0.64–0.89)

CM (N = 7): 2 ± 0.2 (1.9–2.4) g/cm³, 20 ± 6 (13–28) %, 0.63 ± 0.11 (0.44–0.77)

Tagish Lake (N = 5): 1 ± 0.0 (2.1–2.2) g/cm³, 19 ± 1 (19–21) %, 0.84 ± 0.06 (0.76–0.89)

Although Benu and Ryugu samples are similar to CIs and each other [1,2], some Benu matrices exhibited lower density, higher porosity, and lower Mg# than Ryugu matrices. CI matrices had generally higher density, lower porosity, and lower Mg# than Benu and Ryugu matrices, likely due to terrestrial weathering. CM and Tagish Lake matrices were similar to CIs', except for the CMs' more Fe-rich composition.

[1] Lauretta & Connolly et al. (2024) MAPS 59, 2453–2486. [2] Tsuchiyama et al. (2024) GCA 375, 146–172.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[R5-14] A highly primitive asteroid Bennu particle preserving dust from the early solar system

*Megumi MATSUMOTO¹, Akira Tsuchiyama^{2,3}, Masahiro Yasutake⁴, Toru Matsumoto⁵, Tomoyo Morita¹, Daisuke Nakashima¹, Haruka Ohno⁵, Shogo Tachibana⁶, Harold C. Connolly^{7,8,9}, Dante S. Lauretta⁸ (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG/CAS, 4. JASRI/SPring-8, 5. Kyoto Univ., 6. Univ. Tokyo, 7. Rowan Univ., 8. Univ. Arizona, 9. American Museum of Natural History)

Keywords : Asteroid (101955) Bennu, GEMS, Aqueous alteration

Initial analysis of samples from asteroid Bennu, returned by the OSIRIS-REx mission, indicated the presence of Mg-rich phyllosilicates, magnetite, Fe-Ni sulfides, carbonates, Mg,Na -rich phosphates, and organic matter¹. This mineralogy resembles that of samples from asteroid Ryugu² and represents extensive secondary alteration by aqueous processes. However, in a synchrotron X-ray diffraction (XRD) and computed tomography (XCT) survey of more than 50 Bennu particles³, we found one (OREX-803191-0, ~800 μm) containing abundant Fe-Ni metal and anhydrous silicate grains, suggesting that it did not experience significant alteration. Here we present the results of XRD, XCT, scanning electron microscopy (SEM), and transmission electron microscopy (TEM) analyses of this particle. XRD and XCT revealed that Bennu particle OREX-803191-0 consists mainly of a fine-grained, porous matrix material with embedded, relatively coarse (up to ~100 μm) Mg-rich olivine, pyroxene, and kamacite grains. SEM analysis of cross sections of the particle show that fragmental grains consisting of Mg-rich olivine and probable Ca,Al-bearing silicate glass are widely distributed. These grains exhibit a barred olivine texture and are probably fragments of chondrules. The kamacite grains have thin Fe-oxide (probable magnetite) rims, suggesting a minor degree of aqueous alteration. TEM observations showed that the fine-grained, porous matrix consists mainly of GEMS (glass with embedded metal and sulfide)-like grains entangled with spongy organic matter. The GEMS-like grains do not contain metal inclusions and show no evidence of replacement by hydrous silicate phases. Overall, our findings suggest that this Bennu particle escaped the significant aqueous alteration typical of most of the Bennu samples and preserves primitive dust accreted to the parent body. ¹Lauretta & Connolly et al. (2024) MAPS 59, 2453–2486. ²Nakamura et al. (2022) Science 379, eabn8671. ³Tsuchiyama et al. (2025) 3S Symposium 2025.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🗨️ Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

◆ Invited Lecture

3:00 PM - 3:30 PM JST | 6:00 AM - 6:30 AM UTC

[R5-15] Anhydrous primary minerals in Ryugu and Bennu samples

*Noriyuki Kawasaki¹, Toru Matsumoto², Sota Arakawa³, Yushi Miyamoto¹, Naoya Sakamoto¹, Daiki Yamamoto⁴, Sara S. Russell⁵, Jessica Barnes⁶, Ann Nguyen⁷, Harold C. Connolly^{6,8}, Dante S. Laurette⁶, Hisayoshi Yurimoto¹ (1. Hokkaido Univ., 2. Kyoto Univ., 3. JAMSTEC, 4. Kyushu Univ., 5. NHM, 6. University of Arizona, 7. NASA, 8. Rowan Univ.)

Keywords : Ryugu、Bennu、CI chondrite、Refractory inclusions

C型小惑星リュウグウおよびベヌーのサンプルは、化学的・岩石鉱物学的にCIコンドライト隕石に類似することが知られる (e.g., Yokoyama et al., 2023; Laurette et al., 2024)。リュウグウ、ベヌーおよびCIコンドライトは、母天体における水質変質作用において生成したフィロケイ酸塩、炭酸塩、磁鉄鉱、硫化鉄などの二次鉱物を主要構成要素とする。一方、無水一次鉱物もわずかながら存在することが報告されている (e.g., Nakamura T. et al., 2023; Yamaguchi et al., 2023)。本研究では、リュウグウ、ベヌーおよびCIコンドライトの材料物質および母天体の起源の理解に向けて、一次鉱物の岩石鉱物学観察、酸素同位体分析、Al-Mg年代測定を実施した (Kawasaki et al., 2022, 2025, in prep.; Barnes et al., 2025)。

リュウグウ、ベヌー、Ivuna隕石のサンプル中では、一次鉱物は主に約30 μm以下の単独の鉱物粒子 (オリビン、低Ca輝石、スピネル) として観察された。また、ヒボナイトとスピネルから成るCAI (Ca-Al-rich inclusion)、ディオプサイドとスピネルから成るCAI、オリビンに少量のディオプサイドおよび斜長石を伴うAOA (amoeboid olivine aggregate) といった、約10~70 μmの難揮発性包有物もそれぞれのサンプルから低頻度ながら確認された。一方、コンドリュールやそのpseudomorphは観察されなかった。ただし、これまでにリュウグウサンプルからは約30 μmのコンドリュールpseudomorphが1つ発見されている

(Nakamura T. et al., 2023)。

難揮発性包有物を構成する鉱物は、ほぼ全てが¹⁶Oに富む酸素同位体組成 ($\Delta^{17}\text{O} \sim -24\text{‰}$) を示した。この酸素同位体組成および鉱物組織・化学組成は、始原的炭素質コンドライト中の難揮発性包有物の特徴 (e.g., Krot, 2019) とよく一致しており、同様の起源をもつ難揮発性包有物であると考えられる。ベヌーのCAI中のディオプサイドは例外的に¹⁶Oに乏しい組成を示した。このディオプサイドの酸素同位体組成および化学組成 (TiO₂量など) は、CVコンドライト中のType BまたはType C CAI中のディオプサイドの組成 (e.g., Kawasaki et al., 2015, 2018) と一致し、おそらくそのような粗粒CAIの岩片であると考えられる。

リュウグウ、ベヌー、Ivuna中のヒボナイトとスピネルから成るCAIのAl-Mg同位体分析の結果、3つのCAI全てが約 5×10^{-5} の初生²⁶Al/²⁷Al比を示した。この初生比は炭素質コンドライト中のCAIが示す値 (e.g., Ushikubo et al., 2017; Kawasaki et al., 2020) と一致しており、これらのCAIが太陽系誕生から約20万年以内に形成したことを示す。リュウグウのヒボナイトとスピネルから成るCAIには、プラケット状の磁鉄鉱が包有されていた。同様の磁鉄

鉍はリュウグウのマトリックス中に頻繁に見られる。また、ベヌーのAOA中のオリビン粒子には、フィロケイ酸塩に置換された組織が観察された。このような部分的に水質変質を受けた組織はしばしば見られ、少なくともこれらの難揮発性包有物が、母天体での水質変質作用が進行する前に、リュウグウやベヌーの材料物質として取り込まれたことを示唆する。

マトリックス中の単独のオリビン粒子は ^{16}O に富むもの ($\Delta^{17}\text{O} \sim -24\%$) と、 ^{16}O に乏しいもの ($\Delta^{17}\text{O} \sim -7 \sim 0\%$) とに二分され、それぞれの酸素同位体組成は炭素質コンドライト中のAOAおよびコンドリュール中のオリビン (e.g., Ushikubo et al., 2012, 2017) の値と一致する。また前者の酸素同位体組成はベヌーおよびIvuna中のAOAオリビンの値とも一致する。 ^{16}O に富むオリビンはAOA形成に関連した粒子であり、 ^{16}O に乏しいオリビンはコンドリュール形成に関連した粒子、またはその岩片であると考えられる。また、両オリビンの化学組成 (Fo#, CaO量, MnO/FeO比) も、それぞれAOAおよびコンドリュール中のオリビンの組成 (e.g., Ushikubo et al., 2012; Komatsu et al., 2015) と調和的であった。

難揮発性包有物および単独の一次鉍物粒子の示す特徴は、リュウグウ、ベヌー、CIコンドライトの間で共通しており、3者の類似性をさらに支持するものである。また本研究により、他の炭素質コンドライトとも材料物質の一部が共通していたことが示された。

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

◆ Invited Lecture

3:45 PM - 4:15 PM JST | 6:45 AM - 7:15 AM UTC

[R5-16] Search for the signatures of water from oxygen isotopic systematics of nominally anhydrous minerals

*Takayuki Ushikubo¹ (1. JAMSTEC)

Keywords : SIMS、Oxygen isotope ratio、Zircon、Chondrule

二次イオン質量分析計 (SIMS) は、数 μm から数十 μm の領域の軽元素同位体比分析をSub-‰の高精度で行う性能を有する[1,2]。この性能を上手に使うと、地質試料や地球外物質試料の小さな領域や特定の鉱物にだけ保存された情報を引き出すことが出来る。本発表では、SIMSの分析で得られた無水鉱物 (Nominally Anhydrous Minerals) の酸素同位体比情報から、水の存在やそれら鉱物と反応した水の同位体比を議論した例を紹介したい。

Jack Hillsジルコン：岩石として残る最も古い地球試料は約40億年前の片麻岩[3]だが、オーストラリア西部のJack Hillsの珪岩からは約33~44億年前に形成した砕屑性のジルコン結晶が見つかる[4,5]。ジルコンの酸素同位体比は全岩の酸素同位体比に比べて0.2~1.0‰程度低い値を持ち、マントル起源の始原的マグマから晶出したジルコンの酸素同位体比はマントル物質の酸素同位体比を反映して $d^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}=5.3\pm 0.6\text{‰}$ (2s)の範囲に分布する[6]。一方で低温での水質変成を受けた物質 (堆積物など) を取り込んだ花崗岩などは高い全岩の酸素同位体比を持ち、そこから晶出するジルコンも高い酸素同位体比 ($d^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}>5.9\text{‰}$) を持つ[7]。Jack Hillsの砕屑性ジルコンでは、約43億年前の年代を示すジルコンから $d^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}=6\sim 7\text{‰}$ という高い酸素同位体比を持つものが見つかる[5]。これは、ジルコンの母岩が低温での水質変成生成物を取り込んで形成した証拠であり、少なくとも約43億年前にはすでに海洋が存在し、低温での水質変成生成物が地球表層で大量に生産されていたことを示唆している。

コンドルール：コンドルールはSub-mmサイズの球状の珪酸塩粒子で、原始惑星系円盤で珪酸塩ダストが短時間に高温に加熱されて熔融して出来たと考えられている。遍く始原的隕石 (コンドライト) に見られるだけでなく、彗星試料からも見つかっている[8,9]。コンドルールは形成時に周囲のガスと効率的に反応して、形成環境の酸化還元状態や酸素同位体比情報を獲得していると考えられる[10]。コンドルールには還元的な環境で出来たタイプI (MgOに富む珪酸塩鉱物+金属鉄) と、割合は少ないが酸化的な環境で出来たタイプII (鉄がFeOとして珪酸塩鉱物に存在) がある。水素ガス主体の原始惑星系円盤環境ではタイプIIを形成する酸化的な環境は容易には作れず、 H_2O 氷を主体とする酸化剤成分の濃集が起きたと考えられる。炭素質コンドライトでは、タイプIとタイプIIのコンドルールで酸素同位体比が異なり、 $D^{17}\text{O}$ 値 ($\equiv d^{17}\text{O}_{\text{VSMOW}}-0.52\times d^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$) はタイプIで約-5‰、タイプIIでは約-2‰という特徴的な値を示す。さらに、CRコンドライトや彗星試料のタイプIIコンドルールでは $D^{17}\text{O}\geq +1\text{‰}$ を持つものも見つかっている[9,11]。タイプIIコンドルールの酸素同位体比は

H₂Oを主体とする酸化剤成分の値を反映していると考えられ[11]、彗星試料等で見つかったタイプIIコンドルールのD¹⁷O値の変化は、原始惑星系円盤の領域毎のH₂O氷の酸素同位体比の違いを反映している可能性がある。

- [1] Kita, N. T. et al. (2009) *Chem. Geol.*, 264, 43. [2] 牛久保 (2016) *ぶんせき*, 2016(10), 390. [3] Reimink, J. R. (2016) *Nat. Geosci.*, 7, 529. [4] Wilde, S. A. et al. (2001) *Nature*, 409, 175. [5] Valley, J. W. et al. (2014) *Nat. Geosci.*, 7, 219. [6] Grimes, C. B. (2011) *Contrib. Mineral. Petr.*, 161, 13. [7] Lackey, J. S. et al. (2005) *Earth Planet. Sc. Lett.*, 235, 315. [8] Nakamura, T. et al. (2008) *Science*, 321, 1664. [9] Nakashima, D. et al. (2012) *Earth Planet. Sc. Lett.*, 357-358, 355. [10] Ushikubo, T. et al. (2012) *Geochim. Cosmochim. Ac.*, 90, 242. [11] Tenner, T. J. et al. (2015) *Geochim. Cosmochim. Ac.*, 148, 228.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏛️ Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

4:15 PM - 4:30 PM JST | 7:15 AM - 7:30 AM UTC

[R5-17] An attempt to identify mineral nanofragmentation as the mark of multiple low-intensity impacts in carbonaceous chondrites

*Balazs Bradak¹, Yusuke Seto², Sena Toyonaga¹, Akos Kereszturi³, Martin Chadima⁴ (1. Kobe University, 2. Osaka Metropolitan University, 3. Hungarian Academy of Sciences, 4. AGICO)

Keywords : anisotropy of frequency-dependent magnetic susceptibility, carbonaceous chondrites, magnetic minerals, hypervelocity impact, multiple low-intensity impacts

Combined rock magnetic, magnetic fabric studies, and scanning electron microscopy were conducted on three carbonaceous chondrites: Allende, Jbilet Winselwan, and Murchison. The study aimed to propose and test the hypothesis of nanoscale fragmentation as evidence for multiple low-intensity impacts by the characterization of the magnetic fabric. Using a novel method, anisotropy of frequency-dependent magnetic susceptibility measurements may allow the identification of nanoscale mineral components and their orientation in meteorites, possibly indicating such processes. As the executed rock magnetic measurements revealed, FeNi alloys, iron sulphides (pyrrhotite), and magnetite were the main magnetic contributor minerals. The foliated fabric and the oblate susceptibility ellipsoid are likely the marks of asteroid impacts and collisions, even though the shock stage of the studied meteorites suggests unshocked or very weakly shocked fabric. Multiple, low-intensity impacts may explain such a paradox. Still, due to the lack of superparamagnetic contributors, no nano-scale superparamagnetic fabric could be recognized by the anisotropy of frequency-dependent magnetic susceptibility measurements. Besides such results, using the magnetic fabric parameters, some observations were made about the possible development and alteration of the fabric due to hypervelocity and multiple, low-intensity impacts. The former may cause more homogenic-, and the latter process results in a more scattered magnetic mineral (re-)distribution.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

🎵 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🎵 Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

4:30 PM - 4:45 PM JST | 7:30 AM - 7:45 AM UTC

[R5-18] History of presolar SiC grains in circumstellar space

*Hisayoshi YURIMOTO¹, Ken-ichi Bajo¹, Tatsuki Izumi¹, Yuta Otsuki¹, Sachiko Amari² (1. Hokkaido University, 2. Washington University)

Keywords : Presolar grain、SiC

シリコンカーバイトSiCは、隕石中に存在する主要なプレソラー粒子の一つである。プレソラーSiCの大部分(~93%)はメインストリームSiCと呼ばれ、その同位体組成から、低質量星(約1~3太陽質量)の晩期星であるAGB星起源であると考えられている。AGB星の周りで形成したSiCは、特徴的大きさがミクロンサイズであり、AGB星の星風に乗り、星周空間から星間空間へと運ばれる。星間空間におけるSiCの滞留時間は、銀河宇宙線照射時間により、400万年から30億年と推定されており、その中央値は2億年である。メインストリームSiC粒子はその化学的固溶限界を超える希ガスを含んでいる。その希ガスは、NeとHeの同位体比より、AGB星エンベロップ由来とAGB星He殻由来の希ガスが混合していることを示している。これらの結果より、SiC中の希ガスはSiC粒子形成後に物理的に注入されたと考えられており、その注入エネルギーは約50 keV/nucleonと言われている。しかしながら、この注入エネルギーは、AGB星の星風やAGB星が進化した星である惑星状星雲中心星の星風の観測値より1桁以上大きく、矛盾があった。今回、我々は、SiC1粒子ごとのHeの3次元濃度分布を得ることに成功し、Heの注入パターンについて考察し、SiC中の希ガスの起源と星間空間に運ばれるまでのSiCの歴史を推定した。

実験： マーチソン炭素質隕石よりSiC粒子を分離したKJG分画中から、SiC粒子をピックアップし、北海道大学の二次中性粒子質量分析装置LIMASにより、SiC粒子1粒中のHeと主成分元素の3次元濃度分布を測定した。

結果と考察： 炭素同位体比より、本研究で測定したSiC粒子は全てメインストリーム粒子に分類された。3次元分布より、HeはSiC粒子の極表面(表面下300 nm以浅)から検出された。内3つのSiC粒子からは、深さ50~100 nmの所にHe濃度のピークが検出された。これらの結果は、Heが2~4 keV/nucleonのエネルギーで粒子表面から注入されたことを示している。この注入エネルギー幅は惑星状星雲中心星で観測される星風速度と矛盾しない。測定されたHeフルエンス($1 \times 10^{12} \sim 2 \times 10^{15} \text{ atom cm}^{-2}$)より希ガス注入が起こった場所とSiC粒子形成時期が推定された。測定されたメインストリームSiC粒子は、AGB星が惑星状星雲中心星に進化する前の百万年間の期間にAGB星の周りで形成され、より外側の星周空間へと運ばれていき、惑星状星雲の中心から0.3~30光年の距離のところで惑星状星雲中心星の星風に曝されたらしい。

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 11, 2025 2:00 PM - 5:00 PM JST | Thu. Sep 11, 2025 5:00 AM - 8:00 AM UTC 🏠 Oral
Presentation B (Room No. 28)

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Toru Matsumoto (Kyoto University), Daiki Yamamoto (Kyushu University), Megumi Matsumoto (Tohoku University)

4:45 PM - 5:00 PM JST | 7:45 AM - 8:00 AM UTC

[R5-19] An experimental simulation of the destruction processes of presolar SiC grains under low-pressure conditions

*Daiki YAMAMOTO¹, Aki TAKIGAWA², Lily ISHIZAKI², Ryosuke SAKURAI³, Yuki INOUE¹, Junji YAMAMOTO¹, Sota ARAKAWA⁴, Shogo TACHIBANA² (1. Kyushu University, 2. The University of Tokyo, 3. Japan Aerospace Exploration Agency, 4. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology)

Keywords : Presolar grains, Silicon carbide, Evaporation, Reaction kinetics, Protosolar disk

始原的隕石中に含まれるプレソーラー炭化ケイ素 (SiC) 粒子は、酸化された原始太陽系円盤ガス中では熱力学的に不安定であり蒸発を起こす (Larimer & Bartholomay, 1979)。ゆえに、原始太陽系円盤内でのダストの集積以前の熱履歴を記録する有力な指標となり得る。Menydybaev et al. (2002) では、様々な温度条件下で、酸素分圧を制御した1気圧の混合ガス中でSiCの蒸発反応実験をおこなわれた。しかしながら、こうした1気圧で得られた速度論的データは、低圧の円盤条件には適用できない可能性がある。さらに、原始太陽系円盤中でのプレソーラーSiCの残存可能性を、他の種類のプレソーラー粒子 (例えば、始原的隕石中で豊富に存在するプレソーラー非晶質ケイ酸塩粒子; Floss and Haenecour, 2018 and references therein) と比較することで、プレソーラーSiCの相対的な残存量が円盤中のダスト熱履歴を示す指標となる可能性がある。本研究では、原始太陽系円盤内でのSiCの蒸発反応機構および速度論を明らかにし、プレソーラーSiCの相対的な残存量を定量的に評価することを目的として、低圧水素-水蒸気混合ガス中でのSiC蒸発実験を行った。

実験は、H₂-H₂O混合ガス供給機構を備えた真空高温加熱炉を用いて、全圧 (P_{tot}) 0.5 および 2.5 Paの水素-水蒸気混合ガス中で実施した。試料は、多結晶 b (3C)-SiCのプレートから切り出した約4 × (4-5) × 0.6 mmのチップを用いた。実験は以下の3つ条件でおこなった: (1) $P_{\text{tot}} = 0.5$ Pa, H₂/H₂O ~52 ± 5、(2) $P_{\text{tot}} = 2.5$ Pa, H₂/H₂O ~140 ± 17、(3) $P_{\text{tot}} = 2.5$ Pa, H₂/H₂O ~75 ± 4。H₂/H₂O比は、金属鉄とケイ酸塩メルトとの熱力学的平衡反応より決定した。これらの酸化還元条件は、原始太陽系円盤の条件 (太陽系元素存在度に対してH₂O濃集度が1-10倍。i.e., H₂/H₂O ~200-2000; Lodders, 2003; Cuzzi and Zahnle, 2004; Ciesla & Cuzzi, 2006) と同程度、あるいはやや酸化的である。いくつかのサンプルに関してFIB切片を作成し、透過型電子顕微鏡 (STEM-EDS; JEOL JEM-2800) で観察をおこなった。マイクロラマン分光測定により最表面の相同定も実施した。

STEM-EDS分析の結果、試料の表面には酸化物層は形成されていなかった。一方で一部の試料最表面には、多孔質で炭素に富む層が観察された。この結果は、ラマン分光測定による結果とも整合的である。質量変化から推定した蒸発フラック (f) は、~1610-1670 Kより高温で

は温度依存性が小さい一方、より低温領域では顕著な温度依存性を示した。高温領域でのJの P_{H_2O} 依存性は、低圧条件でSiC表面への水蒸気供給量が反応律速段階であることを示唆する。一方、低温領域では、表面での化学反応プロセスが反応律速段階で可能性がある。低温領域で得られた活性化エネルギー (E_a) は $\sim 775\text{--}1141\text{ kJ mol}^{-1}$ であり、先行研究より極めて大きい(Kim, 1987: $\sim 460\text{ kJ mol}^{-1}$; Mendybaev et al., 2002: 556 kJ mol^{-1})。本実験の酸化還元状態を考慮すると、極めて高い E_a の値は、 SiO_2 形成を伴う蒸発反応と伴わない蒸発反応との遷移状態に関係していると考えられる。ダストの不可逆化学反応を取り入れた定常降着円盤モデル (Ishizaki et al., 2023) を用いて、本結果より得られたプレソーラーSiC粒子の残存可能性を、円盤水蒸気ガスとの酸素同位体交換により同位体的特徴を失うプレソーラー非晶質ケイ酸塩粒子の場合 (Yamamoto et al., 2020, 2024) と比較した。その結果、プレソーラーSiC粒子の顕著な蒸発は $\sim 1200\text{--}1400\text{ K}$ で進行し、プレソーラー非晶質ケイ酸塩粒子は $\sim 600\text{--}800\text{ K}$ で酸素同位体特徴を失うことが示された。600–800 Kより低温領域では、初期値で規格化したプレソーラーケイ酸塩/SiC粒子数の比は、太陽からの距離 (r) の増加とともに増加し、 $r > 4\text{--}5\text{ au}$ では0.7–0.9の値に達した。惑星間塵(IDP)のプレソーラーケイ酸塩/SiC比が ~ 6 であり (Leitner et al., 2012)、この値が初期値であると仮定した場合、IDPで規格された始原的隕石中のその比率は $\sim 0.15\text{--}1$ となる。高いプレソーラーケイ酸塩/SiC比 ($> \sim 0.7$) を示す隕石 (e.g., QUE 99177, DOM 08006) は、主に円盤温度が $\sim 300\text{ K}$ 未満の太陽から $\sim 4\text{--}5\text{ au}$ 以遠の領域に由来する物質を集積したと考えられる。