

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | 🏠 Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

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

[R5-10] Shock metamorphism of the surface particles of asteroid Ryugu (2)

*Naotaka TOMIOKA¹, Masaaki Miyahara², Kosuke Kurosawa³, Takaaki Noguchi⁴ (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Hiroshima University, 3. Kobe University, 4. Kyoto University)

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

[R5-11] Distribution and chemical state of interlayer ammonium in clay minerals from asteroid Ryugu samples

*Toru MATSUMOTO¹, Hayato Yuzawa², Mizuho Koike³, Yoko Kebukawa⁴, Takaaki Noguchi¹, Toru Yada⁵, Hiroki Suga⁶, Toshiaki Ina⁶, Hiroshi Sakuma⁷, Yohei Shirose⁸, Yuki Kitamura⁹, Yohei Igami¹, Akira Miyake¹ (1. Kyoto University, 2. UVSOR, 3. Hiroshima University, 4. Science Tokyo, 5. JAXA/ISAS, 6. JASRI, 7. NIMS, 8. Ehime University, 9. JASCO)

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

[R5-12] Aqueous Alteration Experiments Using GEMS Analog Materials: Toward Understanding Aqueous Alteration in the Parent Bodies of Ryugu and Bennu

*Akira TSUCHIYAMA^{1,2}, Haiyang Xian², Mingqi Sun², Xing Ding², Satomi Enju³, Yuan Xu², Yao Xiao², Shengdong Chen², Jiarui Lin², Miaomiao Zhang², Chenyi Zhao², Kirika Otono⁴, Megumi Matsumoto⁵, Junya Matsuno⁶, Shogo Tachibana⁴ (1. Ritsumeikan Uni. ROST., 2. CAS GIG, 3. Ehime Univ. Sci., 4. Univ. Tokyo Sci., 5. Tohoku Univ. Sci., 6. Kyoto Univ. ICR)

💎 Invited Lecture

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

[R5-13] Physical Property Measurements of Returned Samples from Planetary Exploration: From Hayabusa2 to Future Missions

*Satoshi Tanaka¹, Keisuke Onodera², Takuya Ishizaki¹ (1. Institute of Space and Astronautical Science, 2. Institute for Planetary Materials Okayama University)

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

[R5-14] Microscale Thermal Diffusivity Measurement of Oued Chebeika 002

*Takuya Ishizaki¹, Kensaku Moriya², Yuma Enokido¹, Ryosuke Sakurai², Jay Black², Brandon Mahan², Tomohiro Usui¹ (1. JAXA, 2. The University of Melbourne)

💎 Student Presentation Award Entry

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[R5-15] Mineralogical Diversity of Presolar Silicates: Implications for Their Formation and Evolution

*Hiroyuki Hashizume¹, Aki Takigawa¹ (1. The University of Tokyo)

4:00 PM - 4:15 PM JST | 7:00 AM - 7:15 AM UTC

[A_dLCPSk-7add] 休憩

◆ Invited Lecture

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

[R5-16] Active Early Solar Activity Recorded by He-rich Schreibersite in Meteorite

*Tomoya Obase^{1,2,3}, Ken-ichi Bajo³, Megumi Matsumoto⁴, Sohei Wada^{3,5}, Hisayoshi Yurimoto³ (1. IPGP, 2. Science Tokyo, 3. Hokkaido Univ., 4. Tohoku Univ., 5. JAXA)

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

[R5-17] Relationship between chemical compositions of GEMS and solar flare tracks in silicate minerals in CP AMMs

*Takaaki NOGUCHI¹, Rikako Matsumoto^{2,3}, Minako Takase^{2,4}, Takahito Tominaga^{2,5}, Takuya Mitsunari^{6,7}, Noriaki Ohashi^{6,8}, Yuki Kitamura^{1,9}, Akira Yamaguchi¹⁰ (1. Kyoto University, 2. Kyushu University, 3. Ine Town Hall, 4. Fukuoka City Science Museum, 5. Kai Corporation and Kai Industries Co., Ltd, 6. Ibaraki University, 7. Mitsubishi Electric Software Corporation, 8. NEC Networks & System Integration Corporation, 9. JASCO Corporation, 10. National Institute of Polar Research)

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[R5-18] CAI Formation by Melting of Na-bearing Precursors

*Noriyuki Kawasaki¹, Daiki Yamamoto², Naoya Sakamoto¹ (1. Hokkaido University, 2. Kyushu University)

◆ Student Presentation Award Entry

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[R5-19] Experimental study of the phase transition from dmisteinbergite to anorthite: Constraint on the thermal history of CAIs

*Yasuaki Tsuruoka¹, Shogo Tachibana¹ (1. UTokyo Sci.)

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[R5-20] Constraints on Type B CAI precursors and formation conditions from evaporation and crystallization experiments of CAI melts in low-pressure hydrogen gas

*Daiki YAMAMOTO¹, Michiru Kamibayashi², Noriyuki Kawasaki³, Yasuaki Tsuruoka², Shogo Tachibana², Hisayoshi Yurimoto³ (1. Kyushu University, 2. The University of Tokyo, 3. Hokkaido University)

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[R5-21] Petrological, Mineralogical, and Chemical Comparison of a Type B1 CAI in NWA11343 with Experimentally Synthesized Type B1 CAIs.

*Joris LEONARD¹, Yasuaki Tsuruoka¹, Shogo Tachibana¹ (1. UTokyo Sci.)

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

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

[R5-10] Shock metamorphism of the surface particles of asteroid Ryugu (2)

*Naotaka TOMIOKA¹, Masaaki Miyahara², Kosuke Kurosawa³, Takaaki Noguchi⁴ (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), 2. Hiroshima University, 3. Kobe University, 4. Kyoto University)

Keywords : Ryugu, shock metamorphism, microfault, high-pressure phase transformation, shock melting

探査機はやぶさ2がC型小惑星リュウグウから持ち帰った表層粒子は、鉱物学的・岩石学的にCIコンドライトに類似する物質である。これらの表層粒子はレゴリスとしてリュウグウを覆っており、過去に衝突イベントを経験してきたと考えられる。我々はその痕跡を探るべく、リュウグウ粒子の電子顕微鏡観察を進めてきた。本講演では、これまでに得られた結果を総括して紹介する。

炭素質コンドライトのショックステージは、主にオリビンの衝撃効果に基づいて決定される[1]。リュウグウ表層粒子、およびSCIクレーターから採取された粒子のオリビンには、ショックステージS3 (5–10 GPa) を特徴づけるplanar fractureは認められない。また、層状珪酸塩の分解・脱水の痕跡も認められず、平均的にはS2以下 (<5 GPa) に相当する衝撃変成度であった。しかしながら、詳細な鉱物学的観察により、頻度は低いものの、一部の粒子が以下の衝撃効果を示すことが明らかとなった。

(1) 微小断層には、フランボイダルマグネタイトや層状珪酸塩がせん断変形した組織[2]、および平滑な粒子表面に条線を伴う鏡肌 (slickenside) 状組織[3]がある。前者は微小断層の断面、後者は断層面そのものに相当すると考えられる。断層力学解析から推定された圧力は最大4.5 GPaである。(2) 高压鉱物としては、ドブリーライト (FeCr_2S_4) の高压多形のゾレンスキーアイトが発見された[2]。実験的に確認されている安定領域から、リュウグウにおけるゾレンスキーアイトの形成圧力は2 GPa以上と推定される。

宇宙空間に晒されていたリュウグウ粒子の表面には、以下の特徴がみられた。(3) 粒子表面には発泡したメルトが観察され[4]、CIコンドライトの衝撃実験試料の組織[5]に基づけば、10 GPa以上の圧力発生を示唆する。この組織は、メテオロイド衝突における粒子間の摩擦加熱やマイクロメテオロイド衝突の加熱に起因すると解釈される。(4) カルサイト結晶に窪みが認められ、その内部に絡み合った転位が観察された。大理石の衝撃回収実験試料の組織と対比すると、この産状は約4 GPa以上の圧力発生を示す[6]。(5) フランボイド状の非磁性鉱物とその周辺に鉄ナノ粒子が発見された。これはフランボイダルマグネタイトが高温で還元された結果生じたと考えられる[7]。(4), (5)の組織はマイクロメテオロイド衝突によって形成されたと解釈される。

以上の衝撃組織を総合すると、リュウグウへの微小衝突では局所的に10 GPaを超える圧力が発生する一方、リュウグウ表層の衝撃効果を代表する巨視的な空間スケールでの圧力は数 GPa程度である。これらの結果は、含水小惑星では、衝突によって生じた破片が母天体上に残存する割合が、無水小惑星に比べて著しく小さい可能性を示唆する。その原因としては、含水コンドライトの引張強度が小さいことに加え、衝撃加熱に伴う脱ガスに起因する爆発的破碎が挙げられる。

脱ガスによる破碎の要因として、人工的に衝撃を加えた炭素質隕石の組織観察から、層状珪酸塩の脱水分解が指摘されてきた。近年、炭素質隕石の模擬物質からの衝撃脱ガス成分をその場計測する技術が開発され、炭素質小天体表面での脱ガスの物理化学の理解が進んだ。密度が異なる様々な鉱物や不均質な形状の空隙の混在により、衝突点近傍では衝撃エネルギーの著しい不均質が生じてしまうことがわかった。秒速3 km程度の衝突速度でも>1000 Kの局所高温領

域が生じるために、含水鉱物は分解して水蒸気を、有機物は酸化されCO/CO₂ガスを発生する。これらの高温ガスは宇宙空間に向けて急激に膨張し爆発を起こす[8]。その結果、衝突点近傍で大きな衝撃変成を受けた物質の大部分は、母天体から放出されと考えられる。

引用文献 [1] Scott et al. (1992) GCA, 56, 4281–4293. [2] Tomioka et al. (2023) Nat. Astron., 7, 669–677. [3] Miyahara et al. (2024) MAPS, 59, 3181–3192. [4] Noguchi et al. (2023) Nat. Astron., 7, 170–181. [5] Nakahashi et al. (2025) EPSL, 668, 119559. [6] Tomioka et al. (2025) Amer. Mineral., 110, 945–955. [7] Kimura et al. (2024) Nat. Commun., 15, 3493. [8] Kurosawa et al. (2025) Nat. Commun., 16, 3608.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

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

[R5-11] Distribution and chemical state of interlayer ammonium in clay minerals from asteroid Ryugu samples

*Toru MATSUMOTO¹, Hayato Yuzawa², Mizuho Koike³, Yoko Kebukawa⁴, Takaaki Noguchi¹, Toru Yada⁵, Hiroki Suga⁶, Toshiaki Ina⁶, Hiroshi Sakuma⁷, Yohei Shirose⁸, Yuki Kitamura⁹, Yohei Igami¹, Akira Miyake¹ (1. Kyoto University, 2. UVSOR, 3. Hiroshima University, 4. Science Tokyo, 5. JAXA/ISAS, 6. JASRI, 7. NIMS, 8. Ehime University, 9. JASCO)

Keywords : Ryugu

はじめに：アンモニアは初期太陽系においてアミノ酸や核酸塩基など含窒素有機物の形成に重要な役割を果たしたと考えられており、その分布を理解することは生命前駆物質の合成場を理解する上で重要である。準惑星セレスや複数の炭素質小惑星の反射スペクトルから、アンモニウムを含む粘土鉱物や塩の存在が推測されてきた[1]。一方で、炭素質隕石試料からはアンモニアが抽出されるが、どのような鉱物相に保持され、母天体内の水質変成過程でどのように進化したのかは十分に理解されていない。

小惑星リュウグウやベヌー試料の赤外反射スペクトル分析では、N-H結合に対応する3マイクロメートル付近の吸収の存在から、アンモニアがリン酸塩や粘土に含まれることが示唆された[2, 3]。しかし赤外吸収帯のシグナルは有機物等とも重複している。本研究では、赤外分光に加えて、走査型透過X線顕微鏡(STXM)と透過電子顕微鏡(TEM)を用いることによって、リュウグウ試料中のアンモニアの貯蔵先について理解することを試みた。

手法：リュウグウ試料C0071およびC0369を分析試料として用いた。リュウグウ粒子は窒素雰囲気下で保管した。C0071は赤外反射スペクトル測定を行った。また一部の破片に対して透過FTIR（フーリエ変換赤外分光法）測定を行った。続いて集束イオンビーム法により厚さ100nm程度の切片を作製した。切片に対するSTXM分析によって、窒素や炭素のK吸収端のX線吸収スペクトルを取得し、窒素の化学状態を調べた。その後、試料の鉱物学的特徴をTEMを用いて観察した、また、標準物質として、アンモニウム塩の試薬や、NH₄⁺を層間に吸着させた合成サポナイト、アンモニウムを含む雲母である砥部雲母を用いた。

結果と議論：C0071粒子の層状珪酸塩マトリックスの表面には細粒のNa炭酸塩が分布している。この粒子表面の赤外反射スペクトルにはN-H伸縮振動に対応する3マイクロメートル付近の吸収が認められた。Na炭酸塩近傍の層状珪酸塩から得られた窒素K吸収端スペクトルには、約401 eV付近の振動ピークと406 eV付近の幅広いピークが認められた。この特徴は、標準試料のうちNH₄⁺を層間に含むサポナイトのスペクトルとよく一致する。これらの結果から、Na炭酸塩近傍の粘土鉱物には、NH₄⁺がサポナイト層間に保持されている可能性が高いと考えられる。層状ケイ酸塩のTEM観察では、一部に約1.3 nmの層間距離が観察され、サポナイト中の層間分子の存在が示唆される。Na炭酸塩は、リュウグウ母天体における水質変成の後期に、塩水が蒸発もしくは凍結することで消失する過程で、塩濃度の高い残存流体から沈殿した鉱物であると考えられる[4]。粘土鉱物中の層間アンモニウムは、主要な水質変成鉱物の形成後、残存塩水中で窒素成分の濃集やpH変化に伴いサポナイト層間に取り込まれた可能性がある。したがって、リュウグウ母天体において、アンモニアは水質変成の末期まで保持され、後期塩水の消失過程で粘土鉱物に固定されたと考えられる。

Reference:

[1] De Sanctis, M. C. et al. (2015) Nature 528, 241–244. [2] Pilorget, C. et al. (2024) Nat. Astron. 8,

1529–1535. [3] Jiang, T. et al. (2026) Nat. Commun. 5078. [4] Matsumoto, T., et al. (2024). Nat. Astron. 8, 1536-1543.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

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

[R5-12] Aqueous Alteration Experiments Using GEMS Analog Materials: Toward Understanding Aqueous Alteration in the Parent Bodies of Ryugu and Benu

*Akira TSUCHIYAMA^{1,2}, Haiyang Xian², Mingqi Sun², Xing Ding², Satomi Enju³, Yuan Xu², Yao Xiao², Shengdong Chen², Jiarui Lin², Miaomiao Zhang², Chenyi Zhao², Kirika Otono⁴, Megumi Matsumoto⁵, Junya Matsuno⁶, Shogo Tachibana⁴ (1. Ritsumeikan Uni. ROST., 2. CAS GIG, 3. Ehime Univ. Sci., 4. Univ. Tokyo Sci., 5. Tohoku Univ. Sci., 6. Kyoto Univ. ICR)

Keywords : Carbonate~phyllosilicate interaction、Amorphous silicate、Organics、Redox conditions、CI chondrites

Ryugu and Benu samples are similar to CI carbonaceous chondrites. Most are aqueously altered and consist mainly of phyllosilicate-rich matrix with magnetite, pyrrhotite, and carbonates. Minor porous particles dominated by minimally-altered amorphous silicates also occur. As they resemble cometary dust and primitive carbonaceous chondrite matrices, they are likely parent-body protoliths. Thus, GEMS or GEMS-like materials mixed with organics and ice probably accreted, where water from melted ice drove alteration.

We conducted experiments using GEMS analogs of CI-like or average GEMS-like composition by condensation using an induction thermal plasma furnace. The products are submicron spherical amorphous silicate particles containing FeS and (Fe,Ni) nanoparticles, resembling natural GEMS. About 20-30 mg of analog was reacted with pure water (water/rock = 5 by mass) in sealed gold capsules or Teflon vessels at 200 C for two months. Some runs included organics or HMT and ammonium bicarbonate. Products were analyzed by XRD, Raman, SEM/EDS, and TEM/EDS.

Poorly crystalline phyllosilicates (M-S-H) formed from amorphous silicates. Teflon-vessel runs produced hematite and anhydrite, indicating that H₂ from Fe-water reaction escaped while H₂O was retained, causing Fe-S oxidation. Such assemblages are absent from Ryugu and Benu, suggesting H₂ retention during parent-body alteration. In contrast, gold-capsule runs produced phyllosilicates with magnetite, Fe(-Ni) sulfides, and carbonates, reproducing Ryugu-Benu minerals. With increasing CO₂, carbonates changed from Ca carbonate to dolomite and magnesite, and saponite increased relative to serpentine; thus carbonate formation controlled phyllosilicate mineralogy, consistent with Benu analyses. Products also contain two Ryugu-Benu-like matrix textures (porous and less-porous), implying accretionary-texture preservation. Diverse magnetite morphologies were not reproduced except for framboidal-like magnetite.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ Invited Lecture

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

[R5-13] Physical Property Measurements of Returned Samples from Planetary Exploration: From Hayabusa2 to Future Missions*Satoshi Tanaka¹, Keisuke Onodera², Takuya Ishizaki¹ (1. Institute of Space and Astronautical Science, 2. Institute for Planetary Materials Okayama University)

Keywords : Sample Return、 Hayabusa2、 Physical Property Measurements

Sample return missions provide a unique opportunity to directly investigate extraterrestrial materials using state-of-the-art analytical techniques available on Earth. In addition to mineralogical and chemical analyses, measurements of physical properties—including density, porosity, elastic wave velocity, mechanical strength, thermal properties, electrical properties, and magnetic properties—provide essential constraints for understanding the physical processes that governed the formation and evolution of planetary bodies.

The samples returned from asteroid Ryugu by the Hayabusa2 mission represent the world's first comprehensive physical property measurements of carbonaceous asteroid materials. Prior to sample return, an interdisciplinary physical property measurement team was established to develop analytical techniques applicable to the extremely limited amount of returned material. As a result, sixteen physical properties in four categories—mechanical, thermal, electrical, and magnetic—were successfully measured. These measurements not only verified interpretations derived from remote-sensing observations, such as thermal inertia and surface mechanical properties, but also led to new insights into the surface evolution of Ryugu, including the possible contribution of fine-grained regolith to its thermal and mechanical characteristics. Furthermore, the measured physical properties have provided fundamental input parameters for numerical simulations of asteroid formation, impact processes, and thermal evolution, thereby serving as an important bridge between spacecraft observations and theoretical models.

Planetary sample return missions are now expanding beyond near-Earth asteroids to include the Martian moons, comets, and the icy satellites of the outer planets. In these future missions, integrated analyses combining mineralogy, geochemistry, and physical property measurements will become increasingly important for maximizing the scientific value of the limited returned samples. Moreover, integrating laboratory measurements of returned samples with remote-sensing observations and in situ physical measurements will enable local sample-scale information to be extrapolated to the scale of entire planetary bodies, providing a new framework for planetary science.

In this presentation, we will review the physical property measurements performed on the Hayabusa2 Ryugu samples and discuss how these results have contributed to planetary materials science. We will also present future prospects for the role of physical property measurements in upcoming sample return missions and their integration with in situ exploration techniques.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

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

[R5-14] Microscale Thermal Diffusivity Measurement of Oued Chebeika 002*Takuya Ishizaki¹, Kensaku Moriya², Yuma Enokido¹, Ryosuke Sakurai², Jay Black², Brandon Mahan², Tomohiro Usui¹ (1. JAXA, 2. The University of Melbourne)

Keywords : Thermal diffusivity, Oued Chebeika 002, Carbonaceous chondrite

The thermal diffusivity of materials derived from primitive bodies in the Solar System is a fundamental physical property governing the thermal-physical reaction process that occurred during the formation and evolution of their parent bodies, and is therefore an important parameter for understanding their origin and evolution, both physical and chemical. The Hayabusa2 and OSIRIS REx missions explored the primitive bodies C type asteroid Ryugu and B type asteroid Bennu, respectively, and successfully returned samples to Earth. Characterizing the physical properties of samples recovered directly from primitive bodies is of great importance because they have not experienced terrestrial weathering and their provenance is well constrained. Moreover, such measurements have high scientific value because they can be directly compared with data acquired from asteroid surfaces through remote sensing observations.

In contrast, the amount of material available from returned samples is limited, making it valuable to complement their characterization using Ivuna-type carbonaceous (CI) chondrites with mineralogical compositions similar to those of the Ryugu and Bennu samples. However, reported measurements of the thermal diffusivity of CI chondrites remain extremely limited and are restricted to those conducted by our group. Even in our own studies, the analyzed samples are limited to only five particles in total, consisting of three particles from the Ivuna meteorite and two from the Orgueil meteorite (Ishizaki et al., JpGU Proceedings, 2025). Furthermore, the Ivuna and Orgueil meteorites fell 88 and 164 years ago, respectively, and have been reported to have experienced terrestrial weathering compared with the Ryugu samples (Yokoyama et al., 2022). As a result, their thermomechanical properties may have been altered through compositional modification. For this reason, the present study focuses on Oued Chebeika 002, discovered in 2024. Although its fall date is unknown, Oued Chebeika 002 has experienced minimal terrestrial weathering and has been reported to be the most pristine CI chondrite identified to date, exhibiting a bulk chemical composition remarkably like those of the Ryugu and Bennu samples (Broussard et al., 2026). In this presentation, we report the thermal diffusivity of Oued Chebeika 002 and its relationship with local mineral lithologies, as determined using the lock-in thermography periodic heating method (Ishizaki et al., 2023). This enables the analysis of local thermal diffusivity heterogeneity at the submillimeter scale. The obtained thermal diffusivities are also compared to that of more altered meteorite samples, as well as those from returned asteroid samples, allowing us to begin constructing a framework of understanding for this important emerging research field.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ Student Presentation Award Entry

3:45 PM - 4:00 PM JST | 6:45 AM - 7:00 AM UTC

[R5-15] Mineralogical Diversity of Presolar Silicates: Implications for Their Formation and Evolution*Hiroyuki Hashizume¹, Aki Takigawa¹ (1. The University of Tokyo)

Keywords : Presolar grains, circumstellar dust, silicate, TEM, AGB stars

プレソーラー粒子は、始原的隕石や彗星塵中に保存された星周ダストの生き残りとして推定されている。これらは恒星周囲におけるダストの形成、進化について直接分析が可能な唯一の試料である[1]。天文観測や星周モデルによると、酸素に富む漸近巨星分枝(AGB)星の星周ダストは、主に非晶質珪酸塩、コランダム、および準安定(遷移または非晶質)アルミナなどの多様な鉱物相から構成されていることが示唆されている[2]。一方、透過型電子顕微鏡(TEM)で微細構造分析されたプレソーラー珪酸塩のほぼ半数は結晶質でマグネシウムに富むのに対し、非晶質粒子は幅広い組成を示す[3]。アルミニウムに富む酸化物については、星周ダストとしてコランダムと準安定アルミナが主な鉱物相であると推定されている一方、プレソーラー酸化物はコランダムとスピネルが主体となっている[4]。これらの観測結果から、星周ダストとプレソーラー粒子の鉱物相や化学組成の違いは、ガス相からの凝縮後のダストの進化を反映している可能性が示唆されている[5]。本研究ではプレソーラー珪酸塩の鉱物相および化学組成の多様性に着目し、その形成・進化過程を明らかにすることを目的とし、隕石マトリックスの同位体分析および同定したプレソーラー珪酸塩のTEMによる微細構造分析をおこなった。

炭素質コンドライトDominion range (DOM) 08006 (CO3.0) 薄片を用い、プレソーラー粒子存在度が高いと期待される、空隙が少なく粒界のはっきりしないマトリックス領域について[5]、CAMECA NanoSIMS50L (ARIM)を用いて同位体測定をおこなった。1辺10 μm の領域にCs⁺ビーム(～0.9 pA)を照射し二次イオン(¹²C⁻, ¹³C⁻, ¹⁶O⁻, ¹⁷O⁻, ¹⁸O⁻, ²⁸Si⁻, ²⁷Al¹⁶O⁻)像を同時に取得した。ピクセルごとに酸素同位体比(¹⁷O/¹⁶Oまたは¹⁸O/¹⁶O)を計算し、太陽系物質と有意に異なる(ポアソン分布での4 σ 以上)ものをプレソーラー粒子とした。同定したプレソーラー粒子のうちのいくつかを集束イオンビーム(FIB)法により切り出し(FEI Versa3D Dualbeam, TF Helios5 Dualbeam, 東京大学), TEM (JEOL JEM-2800, 東京大学)を用いて結晶構造と化学組成を分析した。

マトリックス領域 19,670 μm^2 に対する同位体分析の結果、8個のプレソーラー酸化物および71個のプレソーラー珪酸塩 (Group E1が1個, Group 1が58個, Group 3が11個, Group 4が9個) を同定した。TEM解析した5粒子のうち1粒子 (AREA06_20_Si_PG47)はGroup 3(低質量, 低金属量AGB星起源)に分類される, Mg/(Mg+Fe) ~ 0.9の約1400 nmの単結晶olivineであった。これはGroup 3に分類されるプレソーラー珪酸塩の、隕石のその場分析による初めてのTEMの解析例である。残る4粒子はいずれもGroup 1(低質量AGB星起源)に分類され、うち3粒子はMg/(Mg+Fe) > 0.7のolivineであった。1粒子 (LCM01b_Si_PG07)はFeに富みCaを含む, (Mg_{0.50}Fe_{0.83}Ca_{0.28})Al_{0.09}SiO_{3.75}の組成をもつ非晶質珪酸塩であった。本粒子はFeおよびCaに富む一方でAlに乏しい組成を示した。CaはAlと同様に難揮発性元素であることから、FeおよびCaの同時濃集とAlの欠乏を単一の凝縮過程のみで説明することは容易ではなく、現在の組成はCaを含む珪酸塩の形成後にFeの取り込みを伴う化学変化など、複数段階の形成、進化プロセスの可能性を示唆する。発表では他の粒子のTEM解析結果も含め、プレソーラー珪酸塩の鉱物相・化学組成の多様性を比較し、その形成・進化過程との関係について議論する。

[1] Nittler, L. R. and Ciesla F. (2016) *ARAA* **54**, 53., [2] Takigawa, A., et al. (2019) *ApJL* **878**, L7., [3]

Seifert et al. (2022) *MAPS* **57**, 1119., [4] Takigawa, A., et al. (2014) *GCA* **124**, 309., [5] Hashizume, H. (2026) M.Sc. thesis, U-Tokyo.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ Invited Lecture

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

[R5-16] Active Early Solar Activity Recorded by He-rich Schreibersite in Meteorite*Tomoya Obase^{1,2,3}, Ken-ichi Bajo³, Megumi Matsumoto⁴, Sohei Wada^{3,5}, Hisayoshi Yurimoto³ (1. IPGP, 2. Science Tokyo, 3. Hokkaido Univ., 4. Tohoku Univ., 5. JAXA)

Keywords : Schreibersite, Solar energetic particles, Pre-main-sequence Sun, Helium, Isotope imaging

若い太陽質量星の観測から、前主系列星期の太陽は現在よりもはるかに活発であり、現在の 10^5 倍に達するような高フラックスの太陽高エネルギー粒子 (solar energetic particles: SEP) を放出していたと推定されている[1]。このような原始太陽活動についての物質的証拠はほとんど見つかっていないが、近年、CMコンドライト中の一部の難揮発性鉱物における過剰な宇宙線起源 ^{21}Ne の存在が、母天体集積前に浴びた強力な太陽宇宙線によって生成されたものと解釈され、活発な原始太陽の証拠として提案されている[2]。

一般に、希ガス元素は高い揮発性および化学的不活性のため、隕石鉱物中にはほとんど含まれない。一方、太陽風によるイオン注入の結果、月や小惑星表層のレゴリス物質には多量の太陽風希ガスが打ち込まれている。そのため、多量の太陽風希ガスを含む一部の隕石は、母天体レゴリス物質に由来すると考えられている。MIL 090657 (CRコンドライト) は、母天体集積後の熱変成や水質変質をほとんど経験していない、始原的隕石である。また、太陽風希ガスに乏しいことから、母天体集積後の太陽風照射を経験していない[3]。このため、もし母天体集積前に強力な太陽風/SEP照射があったとしたら、その証拠をMIL 090657中の物質から見出せる可能性がある。今回、Laser Ionization Mass Nanoscope (LIMAS) を用いた ^4He 同位体イメージングによって、MIL 090657中から ^4He に富むシュライバーサイトを含む特異なクラストを新たに発見した。本発表では、このクラストの鉱物学的特徴および ^4He 分布に基づき、Heの起源と原始太陽活動について議論する。

分析試料として、MIL 090657の研磨薄片を作製し、真空蒸着法によって試料表面に約10 nm厚の金コーティングを施した。その後、北海道大学のLIMASを用いて、 ^4He 、 ^{24}Mg 、 ^{32}S 、 ^{58}Ni の同位体イメージングを行った。 ^4He をイオン注入 (20 keV 、 $3 \times 10^{15}\text{ atoms/cm}^2$) したカンラン石標準試料を用いて感度を評価することで ^4He 濃度の定量を行った[4]。LIMAS分析後、 ^4He に富むクラストの鉱物学的特徴をSEM/EDSおよびTEM/EDSを用いて分析した。

大きさ約 $6 \times 10\text{ }\mu\text{m}$ のクラストは、MIL 090657の細粒マトリックス中に包有されており、主として多孔質なナノ結晶集合体 (porous aggregate of nanocrystals: PAN) から構成されていた (図1)。PANの主要構成鉱物は約10–30 nmの硫化鉄であり、少量のマグネタイトおよびNiに富む硫化物も含まれていた。シュライバーサイト結晶 (最大 $2\text{ }\mu\text{m}$) の一部はPAN中に包有されており、その他はクラスト周縁部に分布していた。クラスト周縁部には、半自形のピロータイト結晶 (最大 $3\text{ }\mu\text{m}$) が分布しており、一部はシュライバーサイト結晶を取り囲んでいた。LIMAS分析の結果、シュライバーサイト結晶中には高濃度の ^4He (約 $3 \times 10^{19}\text{ atoms/cm}^3$) が含まれていた (図1)。一方、PANおよび半自形ピロータイトからは ^4He がほとんど検出されなかった。さらに、約400 nmの高空間分解能での同位体イメージングの結果、 $2\text{ }\mu\text{m}$ サイズのシュライバーサイト結晶内部には ^4He が均一に分布していることが明らかになった。

PANの多孔質組織と鉱物組成は、PANがMgに乏しいトチリナイトの熱分解によって形成されたことを示唆する[5]。このトチリナイトは、Fe-Ni合金または硫化物が水質変質作用を受けて変化したものであると考えられる。半自形ピロータイトもまた、水質変質作用によって形成さ

れた可能性が高い。シュライバーサイトは、星雲ガス中でPAN前駆物質とともに形成されたと考えられる。

^4He に富むシュライバーサイトがPANやトチリナイト中に包有されていることは、シュライバーサイトへの ^4He の取り込みが水質変質作用の前に起こったことを示している。CRコンドライトの水質変質作用は太陽系形成から数百万年後に起きたため[6]、この時期の太陽は前主系列星の段階にあった可能性が高い[1]。2 μm サイズのシュライバーサイト中の均一な ^4He 分布は、注入深さが約20 nmの現在の太陽風 ^4He （約4 keV）とは整合しない。この ^4He 分布は、1 MeV以上のエネルギーを持つSEP-Heが注入されたことを示唆している。さらに、 ^4He 濃度から推定される当時のSEPフラックスは、現在の太陽と比べて数桁高かった。以上より、 ^4He に富むシュライバーサイトは、原始太陽が非常に活動的であり、高強度のSEPを放出していたことを示す直接的な証拠である。

引用文献：[1] Feigelson E. D. et al. (2002) *Astrophysical Journal* 572:335–349. [2] Kööp L. et al. (2018) *Nature Astronomy* 2:709–713. [3] Obase T. et al. (2021) *Geochimica et Cosmochimica Acta* 312:75–105. [4] Otsuki Y. et al. (2025) *Journal of Analytical Atomic Spectrometry* 40:1505–1517. [5] Harries D. and Langenhorst F. (2013) *Meteoritics & Planetary Science* 48:879–903. [6] Jilly-Rehak C. E. et al. (2017) *Geochimica et Cosmochimica Acta* 201:224–244.

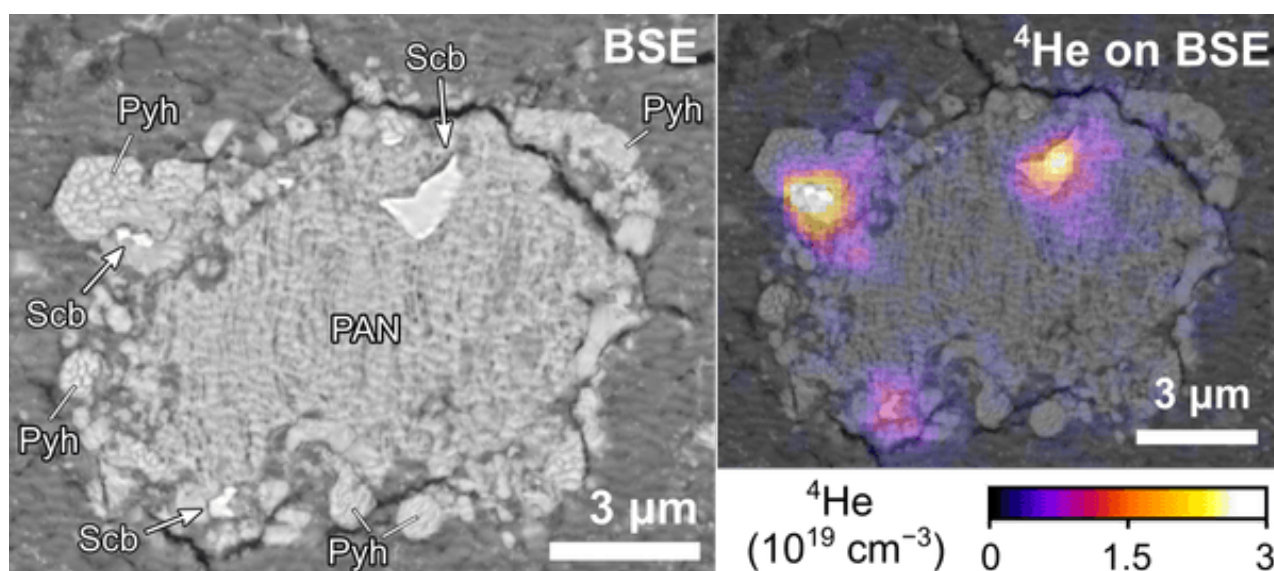


図1. クラストの反射電子像（左）および、クラスト中の ^4He 分布（右）。
Pyh：ピロータイト、Scb：シュライバーサイト。

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

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

[R5-17] Relationship between chemical compositions of GEMS and solar flare tracks in silicate minerals in CP AMMs

*Takaaki NOGUCHI¹, Rikako Matsumoto^{2,3}, Minako Takase^{2,4}, Takahito Tominaga^{2,5}, Takuya Mitsunari^{6,7}, Noriaki Ohashi^{6,8}, Yuki Kitamura^{1,9}, Akira Yamaguchi¹⁰ (1. Kyoto University, 2. Kyushu University, 3. Ine Town Hall, 4. Fukuoka City Science Museum, 5. Kai Corporation and Kai Industries Co., Ltd, 6. Ibaraki University, 7. Mitsubishi Electric Software Corporation, 8. NEC Networks & System Integration Corporation, 9. JASCO Corporation, 10. National Institute of Polar Research)

Keywords : CP AMMs, GEMS, Solar flare tracks

成層圏で回収されるchondritic porous (CP) IDPsは、sub- μm のlow-Ca pyroxene, olivine, pyrrhotite, GEMS (Glass with embedded metal and sulfide) を豊富に含む [1]。南極の雪にはCP IDPsが地表に到達したCP Antarctic micrometeorites (CP AMMs) が含まれる [2]。CP IDPsは高いプレソーラー粒子数密度 (>数百ppm) や、低温領域で形成された有機物に起因する δD や $\delta^{15}\text{N}$ のホットスポットを持つことから、彗星起源の塵または、低温のため水質変成が起きなかった小惑星起源の塵と考えられている [1]。

CP IDPsは約5~15 μm しかなく、主要構成物質の鉱物学的特徴や化学組成について十分なデータがあるとはいえない。このような状況で、GEMSの起源 (e.g., [3, 4]) や、弱い熱変成・水質変成作用を受けたコンドライトが含むGEMS様非晶質珪酸塩とGEMSの関係 (e.g., [5], [6]) が議論されている。

そこで、我々は多数のCP AMMsを分析し、上記の問題を解決することにした。大気圏突入時に顕著な加熱を受けたCP AMMsは測定せず、約30個のCP AMMs (2個のクラスターIDPsを含む) についてTEM観察・分析を行った。試料観察・分析はFEI Tecnai F20、金属鉄を含むGEMSの確認にはJEOL ARM-200Fを用いた。2000以上の分析値から得たGEMSのSi-Mg-Fe元素比から、2つのことが明らかになった。ひとつは、かなり均質な組成を持つMg-rich GEMSのみを含むCP AMMsが存在することである。GEMSの大多数は、Mg-rich GEMSより様々な程度にMgが欠乏している。以下、この大多数を占めるGEMSのことをMg-poor GEMSと呼ぶ。そして、CP AMMs/IDPsは、Mg-rich GEMSを多く含むものとMg-poor GEMSを多く含むものの2群に分かれる。

Mgの欠乏の原因として宇宙線照射が挙げられる [7]。宇宙線照射ではSiに比べてMg, S, Ca, Feが欠乏する。しかし、Mg-poor GEMSでSiに対してSは明らかに欠乏しておらず、照射がMg欠乏の原因とは考えにくい。また、Mg-poor GEMSを多く含むCP AMMsでは、olivineやlow-Ca pyroxeneが $>10^{10}$ 本/ cm^2 の太陽フレアトラックを含む。この数密度は月レゴリスで約25万年の曝露期間に相当する [8]。すなわち、Mg-poor GEMSを多く含むCP AMMsは、太陽活動に長期間曝露され地球に到達したことを示す。このことは、太陽から遠い天体から放出された塵がMg-poor GEMSを多く含むことを示唆する。一方、Mg-rich GEMSを多く含むCP AMMsにはトラックはほぼ見出されず、短い曝露期間で地球に到達したと考えられる。

JWSTやSSTによる原始惑星系円盤の観測は、円盤の中間領域に非晶質珪酸塩が多く、円盤外縁部に結晶質珪酸塩が多いことを示している。これは、結晶質塵が原始星近傍で形成され、円盤外縁に運搬されたことを示唆する [9]。原始太陽系円盤でも同様のことが起き、かつ、Mg-rich GEMSが星間塵であると仮定すると、上述の結果は以下のように解釈できる。(1)原始太陽にガスと共に落下していったMg-rich GEMSが原始太陽近傍で部分的に結晶化しolivineを晶出しMg-poor GEMSとなった。(2)両者の一部は原始星のアウトフロー等によって原始太陽系外縁部に運搬され、揮発性物質の氷や低温領域で形成された有機物等の太陽系外縁部の物質とともに集積し太陽系外縁天体を形成した。(3)太陽系外縁天体やそれらを起源とする天体である短周期彗星

から放出された塵は長期間太陽活動に曝露されて地球に到達した。

References[1]Bradley 2012 In Treat. on Geochem., Vol. 1, 287. [2]Noguchi+ 2015 EPSL 410, 1. [3]Keller & Messenger 2011 GCA 75, 5336. [4] Bradley+ 2022 GCA 335, 323. [5]Nittler+ 2019 Nat. Astron. 3, 659. [6]Ohtaki+ 2023 GCA 310, 320. [7]Jäger+ 2016 ApJ 831 66. [8] Keller+ 2022 MAPS 56, 1685. [9]Sameshima+ 2026 MNRAS 548, 1.

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

5:00 PM - 5:15 PM JST | 8:00 AM - 8:15 AM UTC

[R5-18] CAI Formation by Melting of Na-bearing Precursors*Noriyuki Kawasaki¹, Daiki Yamamoto², Naoya Sakamoto¹ (1. Hokkaido University, 2. Kyushu University)

Keywords : CAI, chondrite, partial melting, ion imaging, SIMS

隕石に含まれる太陽系最古の岩石CAI (Ca-Al-rich inclusion) は、太陽組成の化学系における高温凝縮物に由来する (e.g., Grossman, 1972)。溶融を経験したType B CAIのメリライトにおけるNa含有量から、CAIの前駆物質 (凝縮物の集合体) が溶融したメルトには、Naが含まれていた可能性が提唱されている (MacPherson & Davis, 1993; Simon et al., 2005)。一方で、Type B CAIの溶融時には、MgとSiの蒸発が起きていたとされる (山本ら@本セッション)。そのため、Type B CAIにおけるNaの挙動を明らかにすることは、CAI前駆物質の形成から溶融・蒸発に至る一連のプロセスの理解に重要である。しかし、上述の先行研究における電子線分析では、検出感度および空間分解能が不足しており、隕石母天体上の交代変成に伴うNa流入を除外できず、明確な制約は得られていなかった。本研究では、二次イオン質量分析法 (SIMS) を用いたイオンイメージングにより、Type B CAIのメリライトにおけるNaの空間分布を明らかにし、メリライト結晶成長中のNa量変化と二次プロセスの影響を考察した。

イオンイメージングは、北海道大学のSIMS (Cameca ims-1270e7) と二次元イオン検出器 (SCAPS) を用いて実施した。高感度分析のため、130 nAの¹⁶O⁻高電流一次イオンビームを用い (e.g., Sakamoto et al., 2026), サブミクロン空間分解能で²³Na⁺などのイオン投影像を取得した。Na₂O量が既知の合成メリライトガラス (Kawasaki et al., 2021a) を標準試料として、²³Na⁺/⁴⁰Ca⁺比からCAIメリライトのNa₂O量を求めた。

サンプルには、Golfballと名付けられたアエンデ隕石のType B CAI (e.g., Simon et al., 2005; Kawasaki et al., 2021b) を用いた。Golfballは典型的なType B CAIと同様のバルク化学組成をもつが、ファッサイト致富マントルとメリライト致富コア部から成る特異な組織を示す。コア部の塊状メリライト結晶 (~20–50 μm) の中心部には、Al致富粒子 (Åk_{5–15}) が頻繁に見られ、それらは正累帯構造を示すメリライトのオーバーグロース (Åk_{30–70}) に囲まれている。Al致富メリライト粒子は、Golfball全体またはコア部の化学組成をもつメルトから晶出しない組成であり、周囲のオーバーグロースとの組成 (Åk値) 変化も不連続であることから、後の部分溶融プロセスを生き残った溶け残りであると考えられる (Simon et al., 2005; Kawasaki et al., 2021b)。

塊状メリライト結晶のNaイオン像を取得した。メリライトのオーバーグロースにおいてNa₂O量は、Åk値の増加に伴い、約200 ppmw (~Åk₃₅) から約1400 ppmw (~Åk₇₀) まで連続的に変化していた。溶け残り部分のNa₂O量は約50 ppmwであり、Åk値と同様に、Na₂O量もオーバーグロースとは不連続に変化していた。一方で、二次鉱物 (ネフェリンやグロッシュラーなど) を含むベインではNa₂O量は3000 ppmwを上回った。これらのベインはメリライトのオーバーグロースや低Na濃度を示す溶け残り部分を横切って存在するが、ベイン周囲のメリライトへのNaの流入は1 μm以下に限られていた。そのため、アエンデ隕石母天体上の交代変成に伴うNa拡散によってメリライト結晶 (~20–50 μm) 中のNa分布が形成されたとは考えにくく、オーバーグロース中のNa₂O量の変化は結晶成長時の化学ゾーニングを反映していることを示唆する。

Beckett and Stolper (2000) により実験的に求められたメリライトとメルトのNa分配係数を用いると、メリライトのオーバークロス中のメルトには、数百ppmwオーダーの Na_2O が含まれていたと見積もられる。このNa量は、Ab成分を数%含むアノーサイト質斜長石が前駆物質中に数 wt%程度含まれることで説明可能である。MacPherson & Petaev (2025) の熱力学計算によると、太陽組成ガスからはフォルステライトよりもアノーサイトがわずかながら高温で凝縮する。斜長石に少量のAb成分が取り込まれ得ること (Yoneda & Grossman, 1995) を踏まえると、Golfball CAIのNa分布は、フォルステライトに富む凝縮相が主要成分として加わる前に、Naを含むアノーサイト質斜長石がType B CAI前駆物質へ取り込まれていた可能性を示唆する。

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

◆ Student Presentation Award Entry

5:15 PM - 5:30 PM JST | 8:15 AM - 8:30 AM UTC

[R5-19] Experimental study of the phase transition from dmisteinbergite to anorthite: Constraint on the thermal history of CAIs*Yasuaki Tsuruoka¹, Shogo Tachibana¹ (1. UTokyo Sci.)

Keywords : CAIs、 polymorph、 phase transition、 thermal history、 protosolar disk

隕石中の難揮発性包有物 (CAI) は、原始太陽系円盤で形成された最古の物質であり、原始太陽系円盤の初期進化の過程が記録されている。タイプB CAIは主にスピネル、メリライト、輝石、アノーサイトからなる火成組織を示し、溶融・結晶化を経験したと考えられている [e.g., 1]。安定相のアノーサイトと同じ組成 ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) を持つ準安定な多形の一つとしてドミスタインベルグ石が知られており、火成及び水質変成により形成されたドミスタインベルグ石が一部の天然CAIからも見つかっている [e.g., 2, 3]。また、ドミスタインベルグ石は $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ 組成に富むメルトやCAI組成メルトから結晶化することも確認されており [4, 5, 6]、ドミスタインベルグ石からアノーサイトへの相転移条件を決定することでCAIの熱史に制約を与えられる可能性がある。しかし、ドミスタインベルグ石の安定性を検証した先行研究 [7, 8] では、CAIメルト中の $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ のリキダス ($\sim 1260^\circ\text{C}$ [1]) に近い高温での長時間の加熱は行われておらず、アノーサイトへの溶融を伴わない相転移について十分に理解されていない。本研究では、ドミスタインベルグ石の加熱実験を行い、アノーサイトへの相転移条件とCAIの熱史について議論した。ドミスタインベルグ石の加熱実験をマッフル炉を用いて大気圧下で行った。天然のドミスタインベルグ石（東京大学総合研究博物館）をめのう乳鉢で粉末にしたものを出発物質とした。出発物質3–5 mgを白金皿に入れ、1000, 1100, 1200°Cで15時間加熱した。出発物質と実験後の試料について、X線回折装置 (XRD) を用いて、相同定を行った。

出発物質にはドミスタインベルグ石とワイラカイト ($\text{CaAl}_2\text{Si}_4\text{O}_{12} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) が含まれていたが (図1)、ワイラカイトは微量であり、実験には大きく影響しないと考えられる。1000°Cで15時間加熱した試料のXRDスペクトルにはドミスタインベルグ石とアノーサイトのピークが見られ、ドミスタインベルグ石の一部がアノーサイトに相転移したと考えられる。一方、1100°Cと1200°Cで15時間加熱した試料ではアノーサイトのピークのみが見られ、ドミスタインベルグ石が全て相転移したと考えられる。

本実験で相転移が確認された1000–1200°Cは、タイプB CAIの冷却速度が低速 ($\sim 0.1\text{--}0.5^\circ\text{C hr}^{-1}$ [9]) であったと制約されているほか、CAIの周囲に形成されるWark-Lovering rimやaccretionary rimに含まれるフォルステライト (Mg_2SiO_4) の凝縮温度 ($\sim 1050\text{--}1200^\circ\text{C}$ [10]) と同程度であり、タイプB CAI形成場の背景温度に近いと考えられる。そのため、タイプB CAIの冷却過程で、メルトからドミスタインベルグ石が結晶化しても、CAI形成場の滞在中にアノーサイトへの相転移が起こる可能性が高い。一方、火成のドミスタインベルグ石を含むCAI [2] は、背景温度の低い領域で加熱を経験した可能性が考えられる。

今回、1000°C以上での長時間の加熱によりドミスタインベルグ石からアノーサイトへの相転移が生じることを明らかにした。今後は、温度・時間を系統的に変化させた実験を行い、相転移条件を決定することで、原始太陽系円盤でのCAIの熱史の制約を目指す。

- [1] Stolper, E. (1982) *GCA* 46, 2159–2180. [2] Ma, C. et al. (2013) *Am. Min.* 98, 1368–1371. [3] Fintor, K. et al. (2014) *MaPS* 49, 812–823. [4] Abe, T. et al. (1991) *Phys. Chem. Miner.* 17, 473–484. [5] Abe, T. & Sunagawa, I. (1995) *Mineral. Jour.* 17, 257–281. [6] Tsuruoka, Y. et al. under review. [7] Borglum, B. P. et al. (1993) *J. Am. Ceram. Soc.* 76, 1354–1356. [8] Gorelova, L. A. et al. (2023)

GSF 14, 101458. [9] Yamamoto, D. et al. (2021) *GCA* 314, 108–120. [10] Ebel, D. S. (2006) In *Meteorites and the early solar system II*, pp. 253–277.

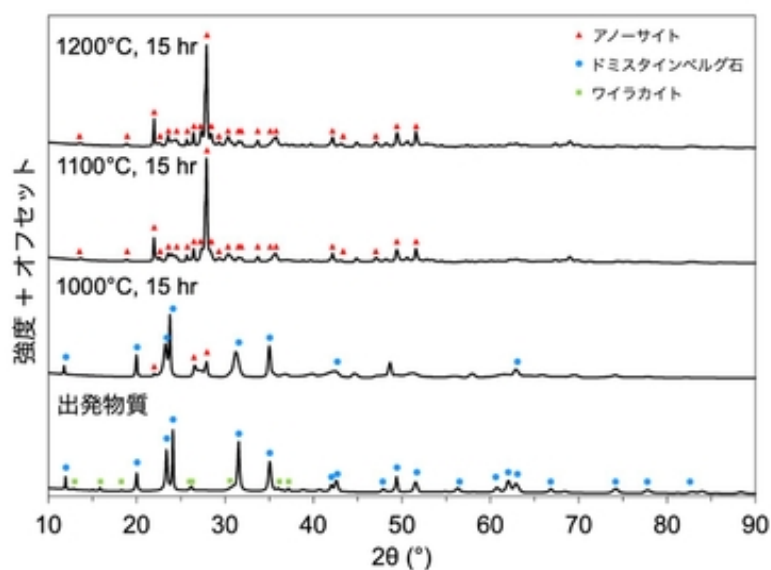


図1. 出発物質及び実験後の試料のXRDスペクトル。1000°Cの実験試料にはドミスタインベルグ石とアノーサイトのピークが見られる一方、1100°Cと1200°Cの実験試料にはアノーサイトのピークのみが見られる。

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

5:30 PM - 5:45 PM JST | 8:30 AM - 8:45 AM UTC

[R5-20] Constraints on Type B CAI precursors and formation conditions from evaporation and crystallization experiments of CAI melts in low-pressure hydrogen gas*Daiki YAMAMOTO¹, Michiru Kamibayashi², Noriyuki Kawasaki³, Yasuaki Tsuruoka², Shogo Tachibana², Hisayoshi Yurimoto³ (1. Kyushu University, 2. The University of Tokyo, 3. Hokkaido University)

Keywords : Ca-Al-rich refractory inclusions (CAIs)、igneous CAI、melt evaporation、crystallization、solar protoplanetary disk

太陽系形成最初期に形成された揮発性包有物 (Ca-Al-rich inclusions; CAIs) のうち、火成CAIは、溶融時に原始太陽系円盤中の水素に富む低圧ガス環境下において、メルトからのMgおよびSiの蒸発を経験したと考えられる (e.g., Clayton et al., 1988; Richter et al., 2002; Mendybaev et al., 2006, 2013; Kamibayashi et al., 2021)。火成組織を持つType B CAIは、外縁に連続したメリライトマントルをもつType B1と、メリライトマントルを持たないType B2に分類される。

Kamibayashi et al. (2021) では、Type B CAIの前駆物質組成の一つとして考えられる χ 組成 (Grossman et al., 2002) を模した出発物質組成 (CAI χ) を用いて低圧水素ガス圧力 (P_{H_2}) 環境下での蒸発結晶化実験をおこなった。その結果、 $P_{H_2} \sim 1$ Paを境界として高 P_{H_2} 側でType B1様組織、低 P_{H_2} 側でType B2様組織が形成されることから、 P_{H_2} の違いが両者の組織的差異をもたらした可能性を指摘している。一方で、この組織的差異は各サブタイプ間の前駆物質組成の違いを反映している可能性も指摘されている (e.g., Simon & Grossman, 2006)。本研究では再溶融時の P_{H_2} 条件および前駆物質組成の違いが、Type B CAI各サブタイプ間の組織的・組成的違いにどのように反映されるかを検証し、太陽系形成最初期の物質進化過程を制約することを目的として、CAI χ 組成とは異なる前駆物質候補組成を用いた低 P_{H_2} 環境下での蒸発結晶化実験を実施した。

出発物質には、CAI χ 組成に対してよりMg・Siに富む前駆物質候補組成 (δ 組成; Grossman et al., 2002) を模した出発物質組成 (CAI δ) を用いた。蒸発結晶化実験には、 H_2 ガス供給系を備えた真空高温加熱炉 (e.g., Kamibayashi et al., 2021) を用い、 $P_{H_2} = 0.1, 1, 10$ Paの環境下で、典型的なType B CAIの最高経験温度である1420°Cで1時間加熱した後、一定の冷却速度 ($R_c = 5, 50^\circ\text{C h}^{-1}$) で冷却した。加熱後物質は、電子顕微鏡 (SEM-EDS, EPMA-WDS) での組織観察および元素分析をおこなった。

$P_{H_2} = 0.1$ Paでは、冷却速度によらず粗粒なメリライトが試料全体にランダムに晶出し、Type B2様組織を示した。 $P_{H_2} = 10$ Paでは冷却速度によらず連続したメリライトマントルが形成された。 $P_{H_2} = 1$ Paでは、 $R_c = 5^\circ\text{C h}^{-1}$ で完全なメリライトマントルが、 $R_c = 50^\circ\text{C h}^{-1}$ では不完全なメリライトマントルが観察された。これらの結果は、CAI χ 組成を用いた実験結果と整合的であり、各サブタイプの組織的差異をもたらす遷移 P_{H_2} 条件は前駆組成に大きく依存しないことが明らかとなった。またこのことは、各サブタイプ間の組織的差異には溶融時の P_{H_2} 条件の違いが重要な役割を果たすことを示している。得られたバルク組成およびメリライトの組成分布を天然Type B CAIと比較した結果、Type B1 CAIはCAI χ あるいはCAI δ 組成に近い前駆物質から比較的高い P_{H_2} 条件下で、Type B2 CAIはCAI δ 組成またはさらに SiO_2 に富む前駆物質から比較的低い P_{H_2} 条件で形成されたことが示唆される。

平衡凝縮理論 (e.g., Grossman et al., 2000, 2008) では、Type B CAIの前駆物質組成は、全圧および温度の低下に伴って SiO_2 に富むことが示されている。したがって、原始太陽系円盤の温度圧

力分布を考慮すると、円盤外側に向かうにつれて前駆体となった凝縮物はType B1 CAIを形成するような組成からType B2を形成するような組成へと変化したと考えられる。このような場合、Type B1 CAIは太陽に近い比較的高全圧領域において、比較的高温で凝縮した前駆物質を起源として形成され、一方、Type B2 CAIは太陽からより遠い比較的低全圧領域において、比較的低温で凝縮した前駆物質を起源として形成された可能性がある。このように、Type B1・B2 CAIの組織的・組成的違いが、原始太陽系円盤における全圧の動径方向の違いと、それに対応した前駆物質組成の違いを反映している可能性が示唆される。

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

Thu. Sep 24, 2026 2:15 PM - 6:00 PM JST | Thu. Sep 24, 2026 5:15 AM - 9:00 AM UTC | Room C (287)

R5: Extraterrestrial materials

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

ハイブリッド形式で開催します。オンラインで参加される場合は「オンライン会議に参加」をクリックしてください。

5:45 PM - 6:00 PM JST | 8:45 AM - 9:00 AM UTC

[R5-21] Petrological, Mineralogical, and Chemical Comparison of a Type B1 CAI in NWA11343 with Experimentally Synthesized Type B1 CAIs.*Joris LEONARD¹, Yasuaki Tsuruoka¹, Shogo Tachibana¹ (1. UTokyo Sci.)

Keywords : Chondrite, CAI, Remelting, Experimental samples, Protoplanetary disk

Calcium-Aluminum-rich Inclusions (CAIs) are the oldest known solids to have formed in the Solar System (4567.30 ± 0.16 Ma; Amelin et al. 2010; Connelly et al. 2012), composed of refractory minerals. Type B CAIs are coarse-grained and are thought to be the result of the melt crystallization of CAI precursors. Type B CAIs are texturally divided into two sub-groups: Type B1 with a pyroxene-rich core and continuous melilite mantle and Type B2 lacking a distinct melilite mantle with homogeneous distribution of phases (e.g., MacPherson 2014). Kamibayashi et al. (2021) experimentally reproduced Type B CAIs in the presence of low-pressure hydrogen gas and demonstrated that a melilite rim of Type B1 CAIs can form through enrichment of Al and Ca near the melt surface through the effective evaporation of Mg and Si. In this study, for better understanding of CAI forming environments through comparison between natural CAIs and experimental analogues, we performed mineralogical and petrographical observations of a Type B CAI (~5 mm in diameter) from a carbonaceous chondrite CV3, NWA 11343 (Gattacceca et al., 2019).

Textural and quantitative elemental analyses of the CAI were performed using a scanning electron microscope (JEOL JCM-7000) equipped with an energy dispersive X-ray spectrometer (JEOL DrySD30) operated at an accelerating voltage of 15 kV. To determine the bulk composition, a manual grid of 861 points (spaced at ~142 μm) was acquired across the inclusion (Tachibana et al. 2003; Tsuruoka et al. under review). The data were divided into four representative subsets to evaluate uncertainties, confirming that the bulk elemental composition of the CAI falls well within the compositional range of Type B CAIs (e.g., Simon & Grossman, 2004).

The core of the CAI is predominantly composed of anorthite (55%), pyroxene (20%), melilite (20%), and spinel (5%), surrounded by a melilite-dominated mantle (melilite 85%) with pyroxene (10%), spinel (3%), anorthite (1%), and traces of metal (<1%). The melilite mantle, ranging from 0.5 to 1 mm in thickness, accounts for approximately 45% of the CAI's volume, placing the CAI into Type B1. Also, the CAI is surrounded by the Wark-Lovering (WL) rim (1–10 μm in thickness) consisting mainly of diopside. The mantle melilite is enriched in gehlenite at the rim and shows the increase of åkermanite towards the inside, similar to other Type B1 CAIs. This suggests that the melilite mantle began to crystallize from the rim to the interior. We also note that spinel occurs as isolated grains or clusters in the CAI, aligned across a few phases in the core region, and also concentrated between melilite mantle and the WL rim.

Although details will be presented at the meeting, the texture and mineral compositions suggest that this CAI experienced multi-stage melting events before incorporation into the parent body and weak parent body alteration as indicated by the presence of sodalite.

The bulk elemental composition of the CAI shows higher SiO_2 content than those of synthetic

analogues (Kamibayashi et al. 2021; Tsuruoka et al. under review), which likely causes the difference in the abundances and chemistry of mineral phases: pyroxene is far more abundant and larger in the synthetic samples, while anorthite is more abundant in the CAI. The melilite mantle in the CAI exhibits similar thickness to that of experimental analogues, but the melilite mantle in most of the CAI analogs are more enriched in gehlenite than the CAI mantles. Moreover, the CAI doesn't contain any grossite, whereas the experimental analogues exhibit grossite beyond the WL rim, most likely formed through evaporation of the melilite mantle.