

Sat. Sep 17, 2022

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

9:30 AM - 12:30 PM JST | 12:30 AM - 3:30 AM UTC | B251 Adv. Edu. Res. Bldg. B-2F

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Matsumoto Megumi(Tohoku Univ.), Yusuke Seto(Osaka Metropolitan Univ.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[R5-01] Crystallization processes of Martian magma inferred from diversity of petrography and mineral compositions of poikilitic shergottites[\[Presentation award entry\]](#)*Sojiro Yamazaki¹, Takashi Mikouchi² (1. U. Tokyo, 2. U. Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[R5-02] Investigation of a carbonaceous material in an ureilite by using SIXM*Masahiro Yasutake¹, Junya Matsuno², Megumi Matsumoto³, Akira Tsuchiyama^{2,4}, Kentaro Uesugi¹, Akihisa Takeuchi¹ (1. JASRI, 2. Ritsumeikan Univ., 3. Tohoku Univ., 4. CAS/GIG)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[R5-03] FIB-TEM observation of co-existing tridymite polymorphs in Moama meteorite*Atsushi Takenouchi¹, Yohei Igami², Akira Miyake², Norimasa Shimobayashi², Takashi Mikouchi³, Haruka Ono³ (1. Kyoto Univ. Museum, 2. Kyoto Univ., 3. The Univ. of Tokyo, Univ. Museum)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[R5-04] Mineralogical study of the Aguas Zarcas meteorite*Kenei Ogiya¹, Toru Matsumoto², Akira Miyake² (1. Univ. of Tokyo Sci., 2. Kyoto Univ. Sci.)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[R5-05] An Antarctic micrometeorite as a microbreccia of CP IDP and CS IDP-like material*Takaaki Noguchi¹, Rikako Matsumoto^{2,3}, Hikaru Yabuta⁴, Hanae Kobayashi⁹, Akira Miyake¹, Hiroshi Naraoka², Ryuji Okazaki², Naoya Imae⁵, Akira Yamaguchi⁵, David Kylcoyne⁶, Shohei Yamashita⁷, Yoshio Takahashi⁸ (1. Kyoto Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. Sci., 3. Ine Town Hall, 4. Hiroshima Univ. Sci., 5. NIPR, 6. ALS, 7. KEK, 8. Univ. Tokyo Sci., 9. Nihon Therm. Consult.)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[1Lecture-101-11-6add] Break time

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[R5-06] Mineralogical investigation of multiple lithologies in the Hayabusa2 returned sample C0002 grain using SEM, TEM, and X-ray nanoCT*Megumi Matsumoto¹, Junya Matsuno², Akira Tsuchiyama^{2,3}, Tomoki Nakamura¹, Takashi Mikouchi⁴, Masahiro Yasutake⁵, Kentaro Uesugi⁵, Akihisa Takeuchi⁵, Satomi Enju⁶, Shota Okumura⁸, Itaru Mitsukawa⁸, Sun Mingqi³, Yuma Enokido¹, Akira Miyake⁸, Hisayoshi Yurimoto⁷ (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG, CAS, 4. Univ. Tokyo, 5. SPring-8, JASRI, 6. Ehime Univ., 7. Hokkaido Univ., 8. Kyoto Univ.)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[R5-07] Petrology and mineralogy of olivine in asteroidal Ryugu samples*Takashi Mikouchi¹, Hideto Yoshida², Tomoki Nakamura³, Michael E. Zolesnky⁴, Daisuke Nakashima³, Kenji Hagiya⁵, Mizuha Kikuri³, Tomoyo Morita³, Kana Amano³, Eiichi Kagawa², Hisayoshi Yurimoto⁶, Takaaki Noguchi⁷, Ryuji Okazaki⁸, Hikaru Yabuta⁹, Hiroshi Naraoka⁸ (1. Univ. Tokyo, 2. Univ. Tokyo, 3. Tohoku Univ., 4. NASA JSC, 5. Univ. Hyogo, 6. Hokkaido Univ., 7. Kyoto Univ., 8. Kyushu Univ., 9. Hiroshima Univ.)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[R5-08] Magnetite 3D morphology in Hayabusa2 returned sample: diversity and implication*Akira Tsuchiyama¹, Megumi Matsumoto², Junya Matsuno¹, Akira Miyake³, Tomoki Nakamura², Takaaki Noguchi³, Masanori Yasutake⁴, Kentaro Uesugi⁴, Akihisa Takeuchi⁴, Satomi Enju⁵, Aki Takigawa⁷, Shota Okumura³, Itaru Mitsukawa³, Mingqi Sun⁶, Yuma Enokido² (1. Ritsumeikan Univ., 2. Tohoku Univ. Sci., 3. Kyoto Univ. Sci., 4. JASRI/SPring8, 5. Ehime Univ. Sci., 6. CAS/GIG, 7. Tokyo Univ. Sci.)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[R5-09] Deposited materials on space weathered anhydrous minerals from asteroid Ryugu

*Toru Matsumoto¹, Takaaki Noguchi^{1,2}, Akira Miyake¹, Yohei Igami¹, Mitsutaka Haruta¹, Hikaru Saito², Satoshi Hata², Yusuke Seto³, Masaaki Miyahara⁴, Naotaka Tomioka⁵, Hisayoshi Yurimoto⁶, Tomoki Nakamura⁷, Hikaru Yabuta⁴, Hiroshi Naraoka², Ryuji Okazaki² (1. Kyoto Univ, 2. Kyushu Univ. , 3. Osaka Metropolitan Univ. Sci., 4. Hiroshima Univ. Sci., 5. JMASTEC, 6. Hokkaido Univ. Sci., 7. Tohoku Univ. Sci.)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[R5-10] Minor phases in CI chondrites

*Taro Ando¹, Takaaki Noguchi¹, Shoichi Itoh¹ (1. Kyoto Univ. Sci.)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[R5-11] Shock metamorphism of the surface particles of asteroid Ryugu

*Naotaka Tomioka¹, Akira Yamaguchi², Motoo Ito¹, Masayuki Uesugi³, Naoya Imae², Naoki Shirai^{4,5}, Takuji Ohigashi^{6,7}, Makoto Kimura², Ming-Chang Liu⁸, Richard Greenwood⁹, Kentaro Uesugi³, Aiko Nakato¹⁰, Kasumi Yogata¹⁰, Hayato Yuzawa⁶, Yu Kodama (1. JAMSTEC, 2. NIPR, 3. SPring-8, 4. Tokyo Metro. Univ., 5. Kanagawa Univ., 6. UVSOR, IMS, 7. KEK, 8. UCLA, 9. Open Univ., 10. JAXA)

Oral presentation R7: Petrology, Mineralogy and Economic geology (Joint Session with Society of Resource Geology)

9:30 AM - 12:30 PM JST | 12:30 AM - 3:30 AM UTC | B253 Adv. Edu. Res. Bldg. E-2F

R7: Petrology, Mineralogy and Economic geology (Joint Session with Society of Resource Geology)

Chairperson: Norikatsu Akizawa(The Univ. Tokyo), Taakuya Echigo(Akita Univ.)

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[R7-01] Amphibole in highly depleted peridotite

*Akihiro Tamura¹, Ikuya Nishio¹, Shoji Arai¹, Tomoaki Morishita¹ (1. Earth Sci, Kanazawa Univ.)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[R7-02] Plausible candidates of the IOA-IOCG type magnetite ore deposits in the Kanto Mountains.

*Atsushi MIYASHITA¹, Hiroyasu MURAKAMI² (1. Seikei Univ., 2. Waseda Univ.)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[R7-03] Chemical composition of tourmaline from Li-pegmatite of Myokenzan, Ibaraki prefecture, Japan

*Takuya Echigo¹, Hotaka Ishizawa¹, Yasushi Watanabe¹ (1. Akita Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[R7-04] Characteristics of the granite from the Iwafune pluton and its relation with the Takatori deposit, Ibaraki Prefecture

[Presentation award entry]

*Haruki Yamazaki¹, Terumi Ejima¹, Yoshiaki Kon², Yuki Tsunazawa² (1. Shinshu Univ. Sci., 2. GSJ, AIST)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[R7-05] The mechanism of bipyramidal quartz formation in Kuroko deposits

[Presentation award entry]

*Jumpei Sugioka¹, Ryoichi Yamada¹, Atsushi Okamoto¹ (1. Tohoku Univ. Env.)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[1Lecture-201-11-6add] Break time

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[R7-06] Melt inclusions containing platinum group minerals in Tahitian mantle xenolith

[Presentation award entry]

*Itaru Mitsukawa¹, Tetsu Kogiso¹, Norikatsu Akizawa², Tomoki Taguchi³, Kentaro Uesugi⁴, Akihisa Takeuchi⁴, Masanori Yasutake⁴, Akira Tsuchiyama^{5,6}, Megumi Matsumoto⁷, Junya Matsuno⁶, Shota Okumura¹, Yohei Igami¹, Akira Miyake¹ (1. Kyoto Univ., 2. Univ. of Tokyo, 3. Waseda Univ., 4. SPring-8/JASRI, 5. Guangzhou Inst. of Geochem., CAS, 6. Ritsumeikan Univ., 7. Tohoku Univ.)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[R7-07] Hydrocarbon fluid in authigenic quartz from Torinosu limestone at Sakawa Town, Kochi Prefecture, southwestern Japan

[Presentation award entry]

*Taro Kido¹, Masanori Kurosawa², Kei Ikehata² (1. Univ. Tokyo, Sci, 2. Life Env. Sci., Univ. Tsukuba)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[R7-08] Formation of anorthite megacrysts from their inclusions in the Mt. Kayo, Oguro lava in Akita Prefecture

*Takeyoshi Nishiwaki¹, Takuya Echigo¹ (1. Akita Univ. Sci)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[R7-09] In-situ heating TEM experiments of minerals with laser irradiation system

*Akira MIYAKE¹, Yuki SUZUKI¹, Yohei Igami¹, Ryuichi Nomura², Mitsutaka Haruta², Ichiro Ohnishi³, Hiroki Hashiguchi³ (1. Kyoto Univ. Sci., 2. Kyoto Univ., 3. JEOL Ltd.)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[R7-10] Thermal structure of the oceanic crust as a proxy for the spreading rate: X-tal size geothermometer of the sheeted dikes in the Oman Ophiolite

*Susumu Umino¹, Ayumi Okugawa⁵, Atsushi Toramaru², Yuki Kusano³, Sumio Miyashita⁴, Yoshiko Adachi⁶, Akihiro Tamura¹, Tomoaki Morishita¹ (1. Kanazawa Univ., 2. Kyushu Univ., 3. AIST, 4. HRCG, 5. YKK, 6. CRIEPI)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[R7-11] The magmatic conditions and hypersolidus deformation of lower crustal magma chamber below a fast-spreading ridge. Insight from the core analyses of the Oman ICDP drill holes GT1A and GT2A

*Trinh Nguyen¹, Susumu Umino¹, Takahiro Fudai³, Yuki Kusano², Osamu Ishizuka², Akihiro Tamura¹, Tomoaki Morishita¹ (1. Kanazawa University, 2. AIST, 3. Pacific Cement, Co. Ltd.)

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

10:00 AM - 12:30 PM JST | 1:00 AM - 3:30 AM UTC | B351 Adv. Edu. Res. Bldg. E-3F

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Tsuchiya Noriyoshi (Tohoku Univ.)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S2-01] Chloritization and porosity generation at crust-mantle material boundary

*Atsushi Okamoto¹, Oyanagi Ryosuke², Kazuki Yoshida¹ (1. Tohoku Univ. Env., 2. Kokushikan Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S2-02] Numerical modelling of ion exchange reactions in sedimentary rocks and its application to natural systems

*Takeyasu Abe¹, Eiichi Ishii¹ (1. JAEA)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S2-03] Hyalite-like spherules produced from silica-saturated hydrothermal fluid

*Hiroshi Isobe¹, Shosei Ieda² (1. Kumamoto Univ. Fac. Adv. Sci. Tech., 2. Kumamoto Univ. Fac. Sci.)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S2-04] Effect of silica on iron partitioning during serpentinization

[Presentation award entry]

*Shuhei Tanaka¹, Atsushi Okamoto¹, Kazuki Yoshida¹, Yasuhiro Niwa^{2,3}, Masao Kimura^{2,3}, Masaoki Uno¹, Masakazu Fujii^{4,5} (1. Tohoku Univ. Env., 2. IMSS, 3. KEK, 4. NIPR, 5. The Graduate Univ. for Advanced Studies)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[1Lecture-301-09-5add] Break time

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S2-05] Microtextures of serpentine veins by high resolution X-ray CT

*Satomi Enju¹, Junya Matsuno², Masahiro Yutake³, Megumi Matsumoto⁴, Akira Tsuchiyama^{2,5}, Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³ (1. Ehime Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. SPring-8/JASRI, 4. Tohoku Univ., 5. CAS/GIG)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S2-06] Oceanic and continental alteration fluids recorded in fluid inclusions of carbonate veins in Wadi Dima serpentinite, Oman ophiolite

[Presentation award entry]

*Tomohiro Inukai¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Ohi Shuugo¹, Marguerite Godard² (1. Shizuoka Univ. Sci, 2. Montpellier Univ. CNRS)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S2-07] Silicate minerals dissolution behaviours and reordered preference in the presence of a chelating agent

*Jiajie Wang¹, Astin Nurdiana¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Uni. GSES)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S2-08] Fundamental study on enhancement of mineral dissolution by natural chelating agent

[Presentation award entry]

*Sena Kikuchi¹, Jiajie Wang¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Univ. Environmental sci.)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[S2-09] Formation of magnesium carbonate minerals under high pressure CO₂ conditions*Yuto Nishiki^{1,2}, Masao Sorai², Tsutomu Sato¹ (1. Eng., Hokkaido Univ., 2. AIST)

[1Lecture-301-09-11add] Session convener greeting

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Sat. Sep 17, 2022 9:30 AM - 12:30 PM JST | Sat. Sep 17, 2022 12:30 AM - 3:30 AM UTC | 🏠 B251 Adv. Edu. Res. Bldg. B-2F

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Matsumoto Megumi(Tohoku Univ.), Yusuke Seto(Osaka Metropolitan Univ.)

[Chairperson]

Megumi Matsumoto: R05-01 - R05-05

Yusuke Seto: R05-06 - R05-11

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[R5-01] Crystallization processes of Martian magma inferred from diversity of petrography and mineral compositions of poikilitic shergottites

[Presentation award entry]

*Sojiro Yamazaki¹, Takashi Mikouchi² (1. U. Tokyo, 2. U. Tokyo)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[R5-02] Investigation of a carbonaceous material in an ureilite by using SIXM

*Masahiro Yasutake¹, Junya Matsuno², Megumi Matsumoto³, Akira Tsuchiyama^{2,4}, Kentaro Uesugi¹, Akihisa Takeuchi¹ (1. JASRI, 2. Ritsumeikan Univ., 3. Tohoku Univ., 4. CAS/GIG)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[R5-03] FIB-TEM observation of co-existing tridymite polymorphs in Moama meteorite

*Atsushi Takenouchi¹, Yohei Igami², Akira Miyake², Norimasa Shimobayashi², Takashi Mikouchi³, Haruka Ono³ (1. Kyoto Univ. Museum, 2. Kyoto Univ., 3. The Univ. of Tokyo, Univ. Museum)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[R5-04] Mineralogical study of the Aguas Zarcas meteorite

*Kenei Ogiya¹, Toru Matsumoto², Akira Miyake² (1. Univ. of Tokyo Sci., 2. Kyoto Univ. Sci.)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[R5-05] An Antarctic micrometeorite as a microbreccia of CP IDP and CS IDP-like material

*Takaaki Noguchi¹, Rikako Matsumoto^{2,3}, Hikaru Yabuta⁴, Hanae Kobayashi⁹, Akira Miyake¹, Hiroshi Naraoka², Ryuji Okazaki², Naoya Imae⁵, Akira Yamaguchi⁵, David Kylcoyne⁶, Shohei Yamashita⁷, Yoshio Takahashi⁸ (1. Kyoto Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. Sci., 3. Ine Town Hall, 4. Hiroshima Univ. Sci., 5. NIPR, 6. ALS, 7. KEK, 8. Univ. Tokyo Sci., 9. Nihon Therm. Consult.)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[1Lecture-101-11-6add] Break time

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[R5-06] Mineralogical investigation of multiple lithologies in the Hayabusa2 returned sample C0002 grain using SEM, TEM, and X-ray nanoCT

*Megumi Matsumoto¹, Junya Matsuno², Akira Tsuchiyama^{2,3}, Tomoki Nakamura¹, Takashi Mikouchi⁴, Masahiro Yasutake⁵, Kentaro Uesugi⁵, Akihisa Takeuchi⁵, Satomi Enju⁶, Shota Okumura⁸, Itaru Mitsukawa⁸, Sun Mingqi³, Yuma Enokido¹, Akira Miyake⁸, Hisayoshi Yurimoto⁷ (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG, CAS, 4. Univ. Tokyo, 5. SPring-8, JASRI, 6. Ehime Univ., 7. Hokkaido Univ., 8. Kyoto Univ.)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[R5-07] Petrology and mineralogy of olivine in asteroidal Ryugu samples

*Takashi Mikouchi¹, Hideto Yoshida², Tomoki Nakamura³, Michael E. Zolesnky⁴, Daisuke Nakashima³, Kenji Hagiya⁵, Mizuha Kikuri³, Tomoyo Morita³, Kana Amano³, Eiichi Kagawa², Hisayoshi Yurimoto⁶, Takaaki Noguchi⁷, Ryuji Okazaki⁸, Hikaru Yabuta⁹, Hiroshi Naraoka⁸ (1. Univ. Tokyo, 2. Univ. Tokyo, 3. Tohoku Univ., 4. NASA JSC, 5. Univ. Hyogo, 6. Hokkaido Univ., 7. Kyoto Univ., 8. Kyushu Univ., 9. Hiroshima Univ.)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[R5-08] Magnetite 3D morphology in Hayabusa2 returned sample: diversity and implication

*Akira Tsuchiyajima¹, Megumi Matsumoto², Junya Matsuno¹, Akira Miyake³, Tomoki Nakamura², Takaaki Noguchi³, Masanori Yasutake⁴, Kentaro Uesugi⁴, Akihisa Takeuchi⁴, Satomi Enju⁵, Aki Takigawa⁷, Shota Okumura³, Itaru Mitsukawa³, Mingqi Sun⁶, Yuma Enokido² (1. Ritsumeikan Univ., 2. Tohoku Univ. Sci., 3. Kyoto Univ. Sci., 4. JASRI/SPring8, 5. Ehime Univ. Sci., 6. CAS/GIG, 7. Tokyo Univ. Sci.)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[R5-09] Deposited materials on space weathered anhydrous minerals from asteroid Ryugu

*Toru Matsumoto¹, Takaaki Noguchi^{1,2}, Akira Miyake¹, Yohei Igami¹, Mitsutaka Haruta¹, Hikaru Saito², Satoshi Hata², Yusuke Seto³, Masaaki Miyahara⁴, Naotaka Tomioka⁵, Hisayoshi Yurimoto⁶, Tomoki Nakamura⁷, Hikaru Yabuta⁴, Hiroshi Naraoka², Ryuji Okazaki² (1. Kyoto Univ, 2. Kyushu Univ., 3. Osaka Metropolitan Univ. Sci., 4. Hiroshima Univ. Sci., 5. JMASTEC, 6. Hokkaido Univ. Sci., 7. Tohoku Univ. Sci.)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[R5-10] Minor phases in CI chondrites

*Taro Ando¹, Takaaki Noguchi¹, Shoichi Itoh¹ (1. Kyoto Univ. Sci.)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[R5-11] Shock metamorphism of the surface particles of asteroid Ryugu

*Naotaka Tomioka¹, Akira Yamaguchi², Motoo Ito¹, Masayuki Uesugi³, Naoya Imae², Naoki Shirai^{4,5}, Takuji Ohigashi^{6,7}, Makoto Kimura², Ming-Chang Liu⁸, Richard Greenwood⁹, Kentaro Uesugi³, Aiko Nakato¹⁰, Kasumi Yogata¹⁰, Hayato Yuzawa⁶, Yu Kodama (1. JMASTEC, 2. NIPR, 3. SPring-8, 4. Tokyo Metro. Univ., 5. Kanagawa Univ., 6. UVSOR, IMS, 7. KEK, 8. UCLA, 9. Open Univ., 10. JAXA)

ポイキリティックシャーゴッタイトの岩石組織・鉱物組成多様性から読み解く火星マグマの結晶化過程

山崎 奏次郎(東大・院理)、三河内 岳(東大・総研博)

Crystallization processes of Martian magma inferred from diversity of petrography and mineral compositions of poikilitic shergottites

Sojiro Yamazaki * (U. Tokyo) and Takashi Mikouchi (U. Tokyo)

はじめに：シャーゴッタイトは岩石学的特徴から、ポイキリティック、オリビンフィリック、玄武岩質の主に3つのグループに分類され、それぞれ異なるマグマ分化度と結晶化過程を反映していると考えられている (e.g., Udry+2020)。近年、多くのポイキリティックシャーゴッタイトが発見されるようになった結果、このグループ内には、岩石組織・鉱物組成に大きな多様性が存在することが明らかになってきた。ポイキリティックシャーゴッタイトは、輝石のオイコクリストがカンラン石のチャダクリストを取り囲んだポイキリティック領域と、その外側のカンラン石、輝石、斜長石(衝撃によってマスクリナイト化)からなる非ポイキリティック組織の領域からなる。ポイキリティック組織は地殻・マントル境界付近の深部マグマ溜まりで形成され、非ポイキリティック組織は地表付近で急冷されて形成されたと考えられている (e.g., Rahib+2019)。本研究では、特に近年見つかったポイキリティックシャーゴッタイトを中心に岩石組織、鉱物組成の多様性を分析・比較することで、火星マグマの結晶化過程に制約を与えることを試みた。

試料と分析手法：本研究では、7個のポイキリティックシャーゴッタイト (ALH 77005, NWA 4468, NWA 12241, NWA 13227, NWA 13366, NWA 13369, NWA 14127) の薄片試料について EPMA (JEOL JXA8900L) で元素マップの取得及び鉱物組成を分析した。鉱物相の面積、カンラン石の粒子数や大きさについては、取得した元素マップより、ImageJ を用いて解析を行った。非ポイキリティック組織中のカンラン石結晶については結晶サイズ分布 (CSD) 分析を行い、マグマの冷却固化までの時間を推定した。

結果：輝石のチャダクリストの鉱物組成については、どの試料もコアの領域が $En_{69\pm 8}Wo_{12\pm 7}$ 、

リムが $En_{51\pm 5}Wo_{35\pm 5}$ 程度であり、組成に大きな差は見られなかった。カンラン石の元素組成については、NWA 12241 などは Fo_{60-70} 程度と比較的均質であるのに比べて、NWA 14127 や NWA 13227 は Fo_{40-70} と組成幅が大きいことがわかった。CSD 分析から見積もられたマグマ固化までの時間は NWA 14127 が 42 日、NWA 13227 が 37 日だったのに対して、ALH 77005 は 127 日、NWA 12241 は 94 日と比較的ゆっくり冷却固化したことが推定された。その他の試料についてはこれらの試料の中間的な値を示した。また、非ポイキリティック組織領域にあるマスクリナイトは結晶化過程の最後期に結晶化することから、地表付近での冷却環境を反映していると考えられ、冷却速度が速い NWA 14127, NWA 13227 については長石組成のカリ長石端成分の幅が Or_{0-10} 程度と大きいのに対して、ALH 77005, NWA 12241 などは Or_{1-3} 程度と小さい傾向にあった。また、CSD により得られたマグマ固化時間と、非ポイキリティック組織を占めるマスクリナイトのモード組成との間には負の相関関係が見られた。

考察と結論：複数のポイキリティックシャーゴッタイトを分析したことで、このグループ間に、これまで考えられていた以上の岩石組織および鉱物組成に多様性が存在することが明らかになった。鉱物組成幅に違いを生じさせる要因の一つは、冷却速度であると考えられる。一方、岩石組織の形成には、冷却速度に加え、結晶の集積度合いが関与していると考えられる。ストークスの式から、粒子サイズが大きいものほど、沈降速度は速くなるため、大きい粒子の数密度が高く、冷却固化までの時間が長い試料については、集積が進んだマグマから形成されたことが推察される。したがって、同じマグマ岩体であっても、マグマが固化した深度によって不均一な岩石組織を形成した可能性がある。

Keywords: Poikilitic shergottite, Olivine, Pyroxene, Maskelynite, CSD

*Corresponding author: yamazaki-sojiro615@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

SIXM によるユレイライト中炭素質物質の分析

安武 正展 (JASRI)、松野 淳也(立命館大学)、松本 恵 (東北大学)、土山 明 (立命館大学、広州地球化学研究所)、上杉 健太郎 (JASRI)、竹内 晃久 (JASRI)

Investigation of carbonaceous material in ureilite by using SIXM

M. Yasutake* (JASRI), J. Matsuno (Ritsumeikan Univ.), M. Matsumoto (Tohoku Univ.), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., CAS/GIG), K. Uesugi (JASRI), A. Takeuchi (JASRI)

はじめに：ユレイライトは、主にかんらん石、ピジョン輝石からなる超苦鉄質な分化隕石である。この中には炭素質粒が含まれ、グラファイト中にダイヤモンドが産することが知られている。その成因として、いくつかの仮説が提唱されているが未だ明らかでない[1,2 など]。ダイヤモンド形成には鉄が触媒として働くことが知られており、ユレイライト中にもカマサイトが産する事から触媒的作用があったのではないかという指摘がある[1 など]。その場合、ダイヤモンド・グラファイト間の鉄含有相産状に差が出る事が予想される。しかし研磨等により試料表面が大きく乱れるため表面分析は困難であり詳細は不明である。このような試料にはCTなどによる内部観察が有効である。しかし通常の吸収コントラストによるX線CTではX線吸収率が低いグラファイトとダイヤモンドを区別できない。そこで我々は、吸収像に加え、物質の3次元密度分布を定量的かつ高分解能に明らかにすることができる走査/結像X線顕微鏡(SIXM)を用いることで、グラファイト・ダイヤモンドの3次元的な組織を明らかにし、その中に含まれる包有物の分布を明らかにすることを試みた。

試料と手法： Dar al Gani 999 の薄片を用いた。京都大学にてFIBを用いて約20 μm の円柱状試料を作成した。SPring-8 BL47XUにて8keV単色光を用いてSIXMにより吸収像と位相像を得た。

結果：密度を反映する位相像は明るい領域と暗い領域の主に2領域からなる(Fig. 1)。両領域の線形減衰係数は、 $\sim 10\text{-}20\text{ cm}^{-1}$ 程度の範囲であり、ケイ酸塩鉱物と比較し非常に低い。明るい領域は、

Keyword: Diamond, Meteorite, Ureilite, X-ray CT, SIXM

*M. Yasutake: m.yasutake@spring8.or.jp

暗い領域に囲まれて分布し RID(refractive index decrements)値は約 10.9×10^{-6} を示す。この領域はダイヤモンド(理論値 11.4×10^{-6})であると考えられる。暗い領域は幅のあるRID値を持ち、 $\sim 6.4\text{-}7.4 \times 10^{-6}$ の値である。グラファイトの理論値 7.37×10^{-6} に近く、この領域は主にグラファイトから成ると考えられる。ダイヤモンドとグラファイトの割合は44 vol%および56 vol%である。それぞれの領域には包有物が含まれることが確認され、粒子数を分析した結果、ダイヤモンド中には144粒子、グラファイト中には12粒子、境界部に産するものが51粒子であった。数密度はダイヤモンドで $0.0743\text{ 個}/\mu\text{m}^3$ 、グラファイトで $0.0048\text{ 個}/\mu\text{m}^3$ である。形状が認識できない微小粒子はカウントしていないため、これらは最小値である。測定可能なサイズを持つ包有物のRID値を測定すると14.5-16.0を示す。この値は、Mgケイ酸塩鉱物のRID値 $\sim 10\text{-}11$ より明らかに大きく、トロイライト(14.7)やカマサイト(22.7)に近い。これは、鉄を含む相であることが推測される。以上から、鉄含有相が炭素質粒に存在し、ダイヤモンドに偏って分布していると考えられる。

引用文献：[1] Nakamuta et al. (2016) JMPS, 111, 252-269. [2] Miyahara et al. (2015) GCA, 163, 25-26.

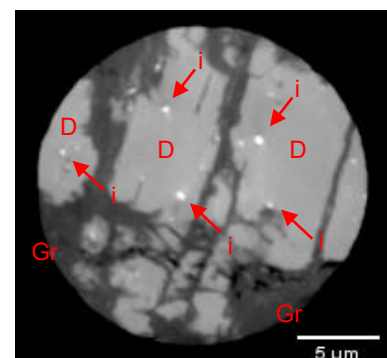


Fig. 1, Phase contrast slice image. D: diamond, Gr: graphite, i: inclusion.

Moama 隕石中トリディマイト多形の FIB-TEM 観察

竹之内惇志 (京大・総博), 伊神洋平 (京大・院理), 三宅亮 (京大・院理), 下林典正 (京大・院理), 三河内岳 (東大・総研博), 大野遼 (東大・総研博)

FIB-TEM observation of co-existing tridymite polymorphs in Moama meteorite

Atsushi Takenouchi*, Yohei Igami, Akira Miyake, Norimasa Shimobayashi, Takashi Mikouchi and Haruka Ono

シリカ鉱物 (SiO_2) には数多くの多形が存在することが知られている。その中でもトリディマイトには少なくとも7つの多形が知られており、400度以上では六方晶系 (HP) であるが、冷却に伴い直方晶系へと構造が変化し、常温になると3つの相 (擬直方 PO-10, 単斜 MC, 単斜 MX-1) が準安定であることが知られている [e.g., 1, 2]。天然の試料中では PO-10 と MC が報告されており、地球の火山岩では主に PO-10, 隕石中では主に MC のトリディマイトが存在していると考えられてきた。近年、隕石中のシリカ鉱物には多様な多形共存関係が存在することが明らかとなり [3, 4], それらの多形の組み合わせが低温での冷却速度の違いを反映している可能性が指摘されている。いくつかの隕石中では PO-10 と MC のトリディマイトがラメラ状に共存 (PO-MC ラメラ) していることも報告されている。このラメラ状の組織は、隕石の冷却に伴い直方晶系トリディマイトの一部が MC へと相転移し、MC へ相転移できなかった部分がその後 PO-10 となることで形成されたと考えられている [3]。しかし、先行研究では SEM での組織観察と相同定のみにとどまっており、詳細な共存組織や方位関係などは明らかとなっていなかった。本研究では PO-10 と MC の相転移関係や晶出条件を明らかにするために、集束イオンビームと透過型電子顕微鏡 (FIB-TEM) を用いて、隕石中の PO-MC ラメラの詳細な観察を行った。

試料加工と観察は京都大学大学院理学研究科の FIB (Helios NanoLab G3 CX) と TEM (JEM-2100F) を用いた。試料は PO-MC ラメラの存在

Keywords: Silica, tridymite, TEM, thermal metamorphism

*Corresponding author: takenouchi.atsushi.5h@kyoto-u.ac.jp

が報告されている集積岩ユークライトの Moama の薄片を用いた。

ラメラと垂直に FIB 切片を切り出し観察したところ、先行研究で報告されている通り PO-10 と MC のトリディマイトが共存していた。両者の境界は明瞭で直線的であり、合成トリディマイトを加熱して得られる PO-MC 共存組織が示す曲線的な境界 [5] とは異なる形態をしていた。電子線回折による方位解析では、MC の空間群を Aa としたとき $(001)_{\text{PO-10}} // (001)_{\text{MC}}$ の関係がみられた。トリディマイトの多形は、六方晶 HP の (0001) 面に並行な SiO_4 四面体がつくる六員環層が、 c^* 方向に積層し、各層が歪んだり積層がずれたりすることで様々な構造が形成されていると捉えることができる [e.g., 1]。今回観察した PO-10 と MC の境界面はその積層の面と平行であり、これらの PO-10 と MC が一つのトリディマイト結晶から相転移により形成されたことを示唆する結果であった。また、PO-10 のラメラ中には MC や PO-10 では指数付け出来ない相も存在していた。回折図形では MC や PO-10 と異なる超周期を持ち、かつ積層方向に変調構造を示していた。今後これらの相も含めて詳細な観察を続け、天然のトリディマイトの相転移関係について明らかにしていく。

[1] 木原國昭 (2001) *日本結晶学会誌* 43, 218-226. [2] Kanzaki M. (2019) *JMPS*, 114, 214-218. [3] Ono H. et al. (2019) *MAPS*, 54, 2744-2757. [4] Ono H. et al. (2021) *MAPS*, 56, 1086-1108. [5] Ashworth J. R. (1989) *Min. Magazine*, 53, 89-97.

Aguas Zarcas 隕石の鉱物学的研究

荻谷 賢英* (東大・院理)、松本 徹 (京大・理, 京大・白眉)、
三宅 亮 (京大・理)

Mineralogical study of the Aguas Zarcas meteorite

Kenei Ogiya* (Univ. of Tokyo), T. Matsumoto (Kyoto Univ.), A. Miyake (Kyoto Univ.)

はじめに : Aguas Zarcas 隕石は 2019 年 4 月 23 日にコスタリカに落下した炭素質コンドライトである。The Meteoritical Bulletin による初期分析では CM2 コンドライトと分類された。Aguas Zarcas 隕石は複数の岩相を含んでいると報告されており、CM コンドライトに一般的でない特異な金属に富む岩相の存在から、CR コンドライト母天体との衝突により Aguas Zarcas 隕石の母天体が形成されたと考察されている(Kerraouch et al., 2021)。しかし、Kerraouch et al. (2021)ではそのような金属に富む“Met-1”と呼ばれる岩相の記載が詳細に行われているが、C1 岩相等、他の岩相についての記載は詳細に行われていない。そこで、本研究では Aguas Zarcas 隕石中の様々な岩相の詳細な観察・分析を行い、この隕石のさらなる岩相多様性についての考察を行った。

試料と分析手法 : 本研究で用いた試料 (10.32 g) は、乾式研磨により厚片試料 (7 mm×11 mm) である。本研究ではコンドリュールのサイズ測定を目的とし偏光顕微鏡を用いて観察を行い、ImageJ で撮影画像の面積および長軸とそれに垂直な短軸の長さを測定した。コンドリュールのサイズとして、長軸と短軸の平均を取った平均粒径を用いた。

偏光顕微鏡による観察の後に、FE-SEM (京大 JEOL JSM-7001F) による観察とそれに付属した EDS 装置での鉱物の化学組成分析を行った。

結果と考察 : 本研究に用いた試料では初期分析や Kerraouch et al. (2021)にて記載のない岩相を含む四つの岩相、Clast1~4 を含んでいた。(1) Clast-1 岩相は、Metzler et al. (1992) で記載された“Primary Accretionary Rocks”に類似した、角礫化を経験していない岩相だと思われる CM 岩相であった。この岩相の岩石サブタイプは Lentfort et al. (2021) の分類法を採用すると 2.2 と見積もられ

た。(2) Clast-2 岩相は角礫化を受けた CM 岩相であった。(3) Clast-3 岩相は金属に富む岩相で岩石サブタイプは 2.2-2.8 と水質変成を比較的受けていない CM 岩相と考えられる。(4) Clast-4 岩相も金属に富む岩相であるが Clast-3 岩相と比べてトリリナイトとクロンステッダイトの連晶組織 (TCI) がほとんど存在しない点で区別される。これは Kimura et al. (2020) にて記載のあった Asuka (A) 12085、A12169、A12236 と同様に最も始原的で水質変成をほとんど受けていない CM 岩相と類似している可能性がある。

結論 : Clast-1 岩相は Kerraouch et al. (2021)には記載がなく、本研究で Aguas Zarcas 隕石にこれまでに未知である岩相が含まれていることを示した。また、先行研究において記載のあった CR コンドライト由来の金属に富む岩相と、本研究の Clast-3 岩相及び Clast-4 岩相は類似した岩石学・鉱物学的特徴を有していた。しかしながら本研究では Clast-3、4 岩相について、先行研究では考察されていない CM コンドライトの水質変成の程度が非常に小さいものである可能性を示した。このことから、本研究からは Aguas Zarcas 隕石の母天体が従来考えられていたよりも多様な水質変成の程度を示す岩相が母天体に含まれていたことを示唆する結果が得られた。

The Meteoritical Bulletin Database.

<https://www.lpi.usra.edu/meteor/metbull.php>

Kerraouch et al. (2021) Meteoritics & Planetary Science, 56(2), 277-310.

Metzler et al. (1992) Geochimica et Cosmochimica Acta, 56, 2873-2897.

Lentfort et al. (2021) Meteoritics & Planetary Science, 56(1), 127-147.

Kimura et al. (2020) Polar Science, 26, 100565.

Keywords: Carbonaceous chondrite, TCI, SEM, EDS

*Corresponding author: ogiya-kenei886@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

CP IDP と CS IDP 的物質の微細な角礫岩である南極微隕石

野口高明^{1*}, 松本里佳子^{2,3}, 藪田ひかる⁴, 小林華栄⁵, 三宅亮¹, 奈良岡浩², 岡崎隆司², 今栄直也⁶, 山口亮⁶, キルコイン・デービッド⁷, 山下翔平⁸, 高橋嘉夫⁹

(¹京都大学, ²九州大学, ³伊根町役場, ⁴広島大学, ⁵(株)日本サーマル・コンサルティング, ⁶国立極地研究所, ⁷Advanced Light Source, ⁸高エネルギー加速器研究機構, ⁹東京大学)

An Antarctic micrometeorite as a microbreccia of CP IDP and CS IDP-like material

Takaaki Noguchi^{1*}, Rikako Matsumoto^{2,3}, Hikaru Yabuta⁴, Hanae Kobayashi⁵, Akira Miyake¹, Hiroshi Naraoka³, Ryuji Okazaki³, Naoya Imae⁶, Akira Yamaguchi⁶, A.L. David Kilcoyne⁷, Yasuo Takeichi⁸, Yasuo Takahashi⁹ (¹Kyoto Univ., ²Kyushu Univ., ³Ine Town Hall, ⁴Hiroshima Univ., ⁵Nihon Thermal Consulting, ⁶NIPR, ⁷ALS, ⁸KEK, ⁹Univ. of Tokyo)

小惑星と彗星の区分は分野によって異なる。観測天文学的には顕著な質量放出の有無、惑星科学的には形成された場所、天体力学的には(短周期彗星については)木星との軌道相互作用の程度にもとづく[1]。天体力学的には小惑星であるが質量放出のある小惑星は活動的小惑星とよばれる[1]。質量放出のある Benu は活動的小惑星である[2]。

成層圏で回収される Interplanetary dust particles (IDPs)は小惑星、彗星、太陽系外縁天体を起源とする塵とされる[e.g. 3]。Chondritic porous IDPs (CP IDPs)と chondritic smooth IDPs (CS IDPs)という IDPs の大部分は、それぞれ彗星と含水小惑星起源の塵と考えられているが、彗星と“彗星的”な小惑星帯外縁の小惑星が CP IDPs の母天体である可能性や、CP IDPs の一部と CS IDPs の一部がそれぞれ小惑星と彗星起源である可能性もある[e.g. 3]。さらに、ソーラーフレアトラック(SFT)数密度の解析から、CP IDPs と CS IDPs のそれぞれには太陽系外縁天体塵が存在する可能性が指摘されている[4]。本研究では、CP IDP と CS IDP の両方と同等の岩相を持つ南極微隕石(以下 AMM) D10IB292 について報告し、その起源について検討する。

この AMM は 2010 年度に南極のドームふじ基地近くの雪に含まれていた AMMs のひとつである。CP IDPs とほぼ同等の岩相の部分の主要構成物質は、Glass with embedded metal and sulfides (GEMS), enstatite whiskers/platelets を含む low-Ca pyroxene, olivine, pyrrhotite である。始源的な隕石に含まれる GEMS 的非晶質珪酸塩ではなく、CP IDPs の GEMS と同様に広い化学組成範囲を示す、Fe-Ni metal を多量に含む典型的な GEMS である。ただ、一部の GEMS には Fe-Ni metal を含むにもかかわらず周囲に低結晶度の層状珪酸塩が形成されているものがあり、非常に弱い水質変成の証

Keywords: CP IDP, CS IDP, AMM

*Corresponding author: Noguchi.takaaki.2i@kyoto-u.ac.jp

拠を示す。他方、CS IDP 類似のコンパクトな岩相の主要鉱物は saponite, framboidal aggregate を含む magnetite, pyrrhotite, (decomposed) Fe-Mg carbonate であり、少量の olivine も存在する。これらは CS IDPs の典型的な主要鉱物である。これら 2 つの岩相が約 5 μm の大きさにパッチ状に組み合わせられており、両者は明瞭な境界を持つ。両岩相に含まれる olivine の SFT 数密度は $>5 \times 10^{10}$ tracks/cm² で、太陽系外縁天体起源 IDPs の範囲にある[4]。

多孔質な岩相の有機物の構造は、CP IDPs とほぼ同じものから芳香族に富むものまで変化に富む。他方、コンパクトな岩相の有機物の構造は均質であり、より高い水質変成作用によって構造が均質化したと考えられる。その構造は、隕石の酸不溶有機物 IOM の構造よりも CP IDPs や NASA スターダスト探査機が持ち帰った Wild 第 2 彗星試料の構造により似ていた。このことは、両者が無関係なものではなく、コンパクトな岩相が多孔質な岩相から形成されたことを示唆する。

この AMM の鉱物学的特徴および有機物の構造的特徴は、その母天体が彗星と同等の構成物質から作られ、後に不完全な水質変成作用を受けたことを示唆している。この AMM は、CP IDP 類似の物質からなる表層と CS IDP 類似の内部起源の物質が混在するレゴリス層中で形成された微細な角礫岩である可能性が高いだろう。もし、高 SFT 数密度が太陽系外縁天体起源の証拠となるのならば、この AMM は不完全な水質変成作用を受けた太陽系外縁天体塵であるかもしれない。

References [1] Jewitt, D. et al. (2015) In: Asteroids, 4th ed. Arizona Univ. Press, pp. 221-241. [2] Lauretta, D. et al. (2019) Science 366, DOI: 10.1126/science.aay3544. [3] Bradley, J. P. (2014) In: Treatise on Geochemistry 2nd ed. Elsevier, pp. 287-308. [4] Keller, L. P. and Flynn, G. J. (2022) Nat. Astronom. 6, 731-735.

Oral presentation

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Matsumoto Megumi(Tohoku Univ.), Yusuke Seto(Osaka Metropolitan Univ.)

Sat. Sep 17, 2022 9:30 AM - 12:30 PM B251 (Adv. Edu. Res. Bldg. B-2F)

[Chairperson]

Megumi Matsumoto: R05-01 - R05-05

Yusuke Seto: R05-06 - R05-11

10:45 AM - 11:00 AM

[1Lecture-101-11-6add]Break time

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), 上杉健太郎 (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

小惑星リュウグウ試料に含まれるカンラン石の岩石・鉱物学

三河内 岳* (東大・総研博)、吉田 英人 (東大・院理)、中村 智樹 (東北大・院理)、Michael E. Zolensky (NASA-JSC)、中嶋 大輔 (東北大・院理)、萩谷 健治 (兵庫県大・院理)、菊入 瑞葉 (東北大・院理)、森田 朋代 (東北大・院理)、天野 香菜 (東北大・院理)、加川 瑛一 (東北大・院理)、坂本 尚義 (北大・院理)、野口 高明 (京大・院理)、岡崎 隆司 (九大・院理)、藪田 ひかる (広大・院理)、奈良岡 浩 (九大・院理)、坂本 佳奈子 (JAXA)、橘 省吾 (東大・院理)、渡邊 誠一郎 (名大・院環境)、津田 雄一 (JAXA)

Petrology and mineralogy of olivine in asteroidal Ryugu samples

Takashi Mikouchi* (Univ. of Tokyo), H. Yoshida (Univ. of Tokyo), T. Nakamura (Tohoku Univ.), M. E. Zolensky (NASA-JSC), D. Nakashima (Tohoku Univ.), K. Hagiya (Univ. of Hyogo), M. Kikuri (Tohoku Univ.), T. Morita (Tohoku Univ.), K. Amano (Tohoku Univ.), E. Kagawa (Tohoku Univ.), H. Yurimoto (Hokkaido Univ.), T. Noguchi (Kyoto Univ.), R. Okazaki (Kyushu Univ.), H. Yabuta (Hiroshima Univ.), H. Naraoka (Kyushu Univ.), K. Sakamoto (JAXA), S. Tachibana (Univ. of Tokyo), S. Watanabe (Nagoya Univ.), Y. Tsuda (JAXA)

はじめに：2020年にJAXA「はやぶさ2」探査機によりサンプルリターンされた小惑星リュウグウ試料は初期分析によりCIコンドライトに化学的・鉱物学的特徴がよく一致することが明らかになった [e.g., Yokoyama+ 2022]。リュウグウ試料は mm～サブ mm サイズの角レキ岩で、母天体での水質変成により、ほとんど層状ケイ酸塩から成るが、水質変成の度合いが弱いと考えられる角レキには、カンラン石が含まれることが報告されている [e.g., Nakamura+ 2022]。これらのカンラン石は母天体での水質変成前の情報を記録している可能性があることから、本研究でCIコンドライトとも比較し、詳細な岩石・鉱物学的研究を行った。

試料と分析手法：本研究には、初期分析「石の物質分析」チームに配分された18粒子のリュウグウ試料 (A0026, A0055, A0063, A0064, A0067, A0094, A0106, C0002, C0023, C0025, C0033, C0040, C0046, C0055, C0061, C0076, C0103, C0107) から作成した樹脂埋め研磨片を用いた (最大約9 mm)。岩石組織観察、鉱物組成分析はFE-EPMA (東大・理 JEOL JXA-85310F) で行った。また、同サイズ (~1-3 mm) のCIコンドライト (Orgueil と Ivuna) も同様の手法で分析した。

結果：カンラン石は2回目のタッチダウンで採集されたRoom Cの粒子からのみ見つかった (11粒子中の9粒子)。最大約50 μmの結晶であったが、ほとんどのものは5 μm以下で破片状であった。ま

れにマイクロコンドルールに類似した球形の結晶や虫食い状の結晶も存在した。カンラン石組成は9割以上がFo₉₉付近に集中し、ごくまれにFeに富む結晶 (Fo₋₄₄) が見られた。MnO組成は、0.0-0.7 wt%であったが、LIMEカンラン石 (Wt%でMnO/FeO>1) も少量ではあるが存在した。その他の微量元素では、Cr₂O₃が0.0-0.7 wt%含まれていたが、Caはほとんど含まれていなかった (CaO:<0.1 wt%)。比較として分析したOrueil, Ivunaともにリュウグウ試料と非常に似た産状 (組織・サイズ) のカンラン石が存在し、カンラン石の鉱物組成もFe-Mg比、微量元素組成ともにリュウグウ試料とよく一致していた。

考察と結論：本研究によって得られたカンラン石の岩石鉱物学的特徴からもリュウグウ試料はCIコンドライトに類似していることが強く支持された。Room A試料にカンラン石が見つからなかったことから、2回のタッチダウンで異なる特徴の試料が採集されたことが示唆される。これまでにCIコンドライトに含まれる5 μm以下の微小カンラン石についての研究はほとんど無いことから、これらのカンラン石に注目して、母天体での水質変成前、特に原始太陽系星雲からの凝縮過程に注目して検証する必要がある。

参考文献：Nakamura T. et al. (2022) *Science*, in revision. Yokoyama T. et al. (2022) *Science*, 10.1126/science.abn7850.

Keywords: Asteroid (162173) Ryugu, Olivine, CI chondrite, FE-EPMA, Hayabusa2 spacecraft

*Corresponding author: mikouchi@um.u-tokyo.ac.jp

はやぶさ2リターンサンプルに含まれる マグネタイト粒子の3次元形状：多様性とその意味

土山明* (立命館大学, 广州地球化学研究所), 松本恵 (東北大学), 松野淳也 (立命館大学), 三宅亮 (京都大学), 中村智樹 (東北大学), 野口高明 (京都大学), 安武正展 (SPRing-8/JASRI), 上杉健太郎 (SPRing-8/JASRI), 竹内晃久 (SPRing-8/JASRI), 延寿里美 (愛媛大学), 瀧川晶 (東京大学), 奥村翔太 (京都大学), 三津川到 (京都大学), 孙铭琦 (广州地球化学研究所), 榎戸祐馬 (東北大学), 松本徹 (京都大学), 塚本尚義 (北海道大学), 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), 橘省吾 (東京大学), 渡邊 誠一郎 (名古屋大学), 津田雄一 (JAXA/ISAS)

Magnetite 3D morphology in Hayabusa2 returned sample: diversity and implication

A. Tsuchiyama* (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem/CAS.), M. Matsumoto (Tohoku Univ.), J. Matsuno (Ritsumeikan Univ.), A. Miyake (Kyoto Univ.), T. Nakamura (Tohoku Univ.), T. Noguchi (Kyoto Univ.), 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.), T. Matsumoto (Kyoto Univ.), H. Yurimoto (Hokkaido 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)

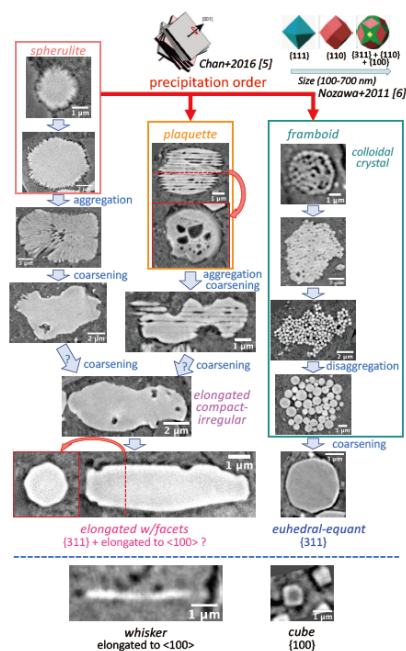
はやぶさ2探査機がC型小惑星リュウグウから地球に持ち帰ったサンプルの初期分析により、リュウグウ表層粒子はCIコンドライトに対応したあるいは類似した物質であることが明らかとなった [e.g., 1-4]。これらの粒子は主にMgに富む層状ケイ酸塩からなり、Fe-Ni硫化物、マグネタイト、炭酸塩、アパタイト等を含むが、マグネタイトのみが多様な粒子形状を示す。本研究では、初期分析の一環として行なった44個の粒子 ($\sim 100 \mu\text{m}$) のSPRing-8 BL47XUの放射光ナノCT分析 [3,4]により得られたマグネタイトの3次元形状を明らかにし、一部粒子については透過型電子顕微

鏡(TEM)分析によりその鉱物学的特徴を調べることで、これらのマグネタイトを生成した水質変成作用の理解を試みた。

結果のまとめを図に示す。球晶は単独で存在するだけでなく、集合した不規則形状をもつものもある。プラケット[5]は内部に空隙を通常持っている。フランボイドは、コロイダル結晶[6]からナノ結晶粒子の緩い集合体まで多様である。一方、これらのような大きな表面積/体積比で特徴付けられるものだけでなく、等粒状や伸長した大きな自形結晶も少なからず存在する。さらには、稀にウィスカーや立方体の微結晶も見られた。

観察された3次元形状から示唆されるマグネタイト形状の発展モデルを図に示した。ここでは、球晶とプラケットはそれぞれ集合し、フランボイドは個々の構成結晶が分離していくが、それぞれの構成結晶の粗大化が共通して起こっている。各形状の相対的な包有関係からは、一連の水質変成作用において、球晶が最も先に析出し、プラケットとフランボイドがこれに続く。少なくともリュウグウ粒子では、Fe, FeSを含む非晶質ケイ酸塩を主な出発物質として水質変成が起こった可能性が大きい。このとき、反応性の高い非晶質ケイ酸塩が水質流体に素早く溶解して生成された高過飽和度溶液から、球晶、プラケットとフランボイドの順に析出し、その後の過飽和度の低下により、大きな自形結晶が出現したと考えられる。

引用文献: [1] Yokoyama et al. (2022) *Science*, 10.1126/science. abn7850. [2] Ito et al. (2022) *Nature Astron.*, in press. [3] Nakamura et al. (2022), *Science*, in revision. [4] Noguchi et al. (2022), *Science Advanced*, in revision. [5] Chan et al. (2016) *Am. Min.* 101: 2041. [6] Nozawa et al. (2011) *JACS*, 133: 8782.



Magnetite morphology with crystallographic information in Ryugu samples by nanoCT and their possible evolution.

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

*Corresponding author: atsuchi@fc.ritsumei.ac.jp

小惑星リュウグウ試料における無水鉱物の宇宙風化と

粒子表面の凝縮層の観察

松本徹^{1*}, 野口高明^{1,2}, 三宅亮¹, 伊神洋平¹, 治田充貴¹, 斉藤光², 波多聡², 瀬戸雄介³, 宮原正明⁴, 富岡尚敬⁵, 塚本 尚義⁶, 中村 智樹⁷, 藪田 ひかる⁴, 奈良岡 浩², 岡崎 隆司², 坂本佳奈子⁸, 橘 省吾⁹, 渡邊 誠一郎¹⁰, 津田 雄一⁸, Min-Pet-Fine sub-team

(1.京都大学、2.九州大学、3.大阪公立大学、4.広島大学、5.海洋研究開発機構、6.北海道大学、7.東北大学、8.宇宙航空研究開発機構、9.東京大学、10.名古屋大学)

Deposited materials on space weathered anhydrous minerals from asteroid Ryugu

*Toru Matsumoto¹, Takaaki Noguchi^{1,2}, Akira Miyake¹, Yohei Igami¹, Mitsutaka Haruta¹, Hikaru Saito², Satoshi Hata², Yusuke Seto³, Masaaki Miyahara⁴, Naotaka Tomioka⁵, Hisayoshi Yurimoto⁶, Tomoki Nakamura⁷, Hikaru Yabuta⁴, Hiroshi Naraoka², Ryuji Okazaki², Sakamoto Kanako⁸, Shogo Tachibana⁹, Sei-ichiro WATANABE¹⁰, Yuichi Tsuda⁸ (1. Kyoto Univ., 2. Kyushu Univ., 3. Osaka Metropolitan Univ., 4. Hiroshima Univ., 5. JAMSTEC, 6. Hokkaido Univ., 7. Tohoku Univ., 8. JAXA, 9. Univ. of Tokyo, 10. Nagoya Univ)

宇宙空間に曝された物質が、その光学特性や化学的な特性が変化する現象を宇宙風化と呼ぶ[1]。宇宙風化の原因は主に太陽風の照射と微小隕石の衝突であると考えられている[1]。月面と小惑星イトカワの試料の研究から、鉱物表面のおよそ数百 nm 以内の深さの局所的な領域において、宇宙風化由来の構造が見られることが明らかになっている[2]。太陽風照射は結晶の非晶質化やナノ粒子の析出・原子のスパッタリングを引き起こし、微小隕石衝突は天体表層の物質を蒸発させ、その一部は鉱物の表面に凝縮すると考えられている。月やイトカワと異なり、含水の炭素質小天体の表面における宇宙風化の詳細はこれまでにほとんど理解されていなかった。

探査機はやぶさ2はC型小惑星リュウグウの表層から試料を持ち帰った[3,4]。初期分析の結果、リュウグウの物質は水質変成の進んだCI炭素質コンドライトに対応することが分かった[5]。リュウグウ試料の主な構成鉱物は、水質変成の生成物である層状珪酸塩鉱物、硫化鉄、磁鉄鉱、炭酸塩鉱物である。これらのうち、無水鉱物は宇宙風化による揮発性元素の挙動を理解する上での特レーサーになると期待される。そこで、本研究では、SEMとTEMを使ったリュウグウ試料の無水鉱物の観察から、無水鉱物の宇宙風化による変化と凝縮物の特徴を理解することを目的とした。

分析対象とした主な試料は、初期分析サブチーム「砂」班に配分された数十-数百 μm のサイズのリュウグウ粒子である。粒子はAuプレートの上に樹脂で固定され、無蒸着の状態ではSEM観察を行なった。一部の粒子に対して集束イオンビームを用いた薄膜化加工を行い、

TEM観察を行なった。

観察の結果、硫化鉄(Pyrrhotite, Pentlandite)の表面では、結晶構造の乱れや超構造の消失が見られ、金属鉄が析出していた。金属鉄はひげ状結晶の形態を呈しており、これは月やイトカワ粒子の硫化鉄の宇宙風化組織と類似していた[6]。一方、磁鉄鉱においても細粒(>10nm)の金属鉄が析出し表面を覆っていた。また炭酸塩表面においてC,O量の減少が見られた。これらの変化は揮発性元素である、C, O,Sが宇宙風化によって選択的に失われることを示している。一方、無水鉱物の最表面には、Si, Mgに富む薄い層が存在しており、これらは衝突由来の凝縮物であると推定される。本発表では、これら無水鉱物の宇宙風化の変化過程と、凝縮物の起源の詳細について議論する。

References [1] Pieters C. and Noble S. K. (2016) JGR Planet 121, 1865-1884. [2] Noguchi T. et al. (2011) Science 333, 1121-1125. [3] Sugita S. et al. (2019) Science 364, 252. [4] Yada et al. (2021) Nat. Astron., 6, 214-220. [5] Yokoyama et al. (2022) Science, 10.1126/science.abn7850. [6] Matsumoto T. et al. (2020) Nat. Commun. 11, 1-8

Keywords: はやぶさ2、リュウグウ、宇宙風化、Hayabusa2, Ryugu, Space weathering

Corresponding author: matsumoto.toru.2z@kyoto-u.ac.jp

CI コンドライトの副成分鉱物について

安藤太郎^{1*}, 野口高明¹, 伊藤正一¹

(¹京都大学)

Minor phases in CI chondrites

Taro Ando^{1*}, Takaaki Noguchi¹, Shoichi Itoh¹ (1. Kyoto Univ.)

CI コンドライト (以降 CIs) は、その全岩化学組成が太陽光球の元素組成とほぼ一致するため、太陽系において化学的に最も始原的な物質とみなされている[e.g. 1]。はやぶさ2の探査したリュウグウも CIs と非常によく似た物質から構成された小惑星であることが知られている[e.g. 2-4]。しかし、CIs は大部分が層状珪酸塩 (serpentine および saponite) とそれに次ぐ magnetite, Fe, Ni-sulfide, carbonate 等から構成され、無水珪酸塩、コンドルール, CAI をほとんど含まないことから、最も強い水質変質作用を受けた太陽系物質でもある[e.g. 5]。このような広範な水質変質により CIs の前駆物質の多くは失われており、それらの性質は未だ明らかではない。

CIs の matrix 中には olivine や pyroxene といった無水珪酸塩が稀に存在することが知られており[e.g. 6, 7]、また、CAI も報告されている (Melilite-spinel-clinopyroxene-rich inclusion) [8]。これらは、CIs の前駆物質の生き残りであり、CIs の前駆物質には高温起源物質が含まれることが示唆される。このように CIs の前駆物質のわずかな生き残りである副成分鉱物を見出し、その産状を記載することは、CIs の母天体が原始太陽系のどのようなところで形成された物質を集積し、どこで形成されたかを明らかにする上で非常に重要である。また、CIs の形成史を理解することはリュウグウ試料をよりよく理解することにもつながる。そこで CIs の前駆物質の起源にさらなる制約を与えるため、過去に重要視されてこなかった副成分鉱物をより詳細に同定し、記載を行った結果を報告する。

試料は Ivuna および Orgueil (CIs) で、エポキシ樹脂に包埋されドライ研磨によって作成された研磨厚片を用いた。FE-SEM-EDS による元素マップを取得し、組織観察、化学組成分析を行った。

Ivuna, Orgueil の matrix には 60 μm 以下の olivine が面積比 約 0.05 % で普遍的に存在し、ほとんどは Fo₉₇₋₁₀₀ だが、Fo₆₂₋₈₂ のものも少数存在す

Keywords: CI コンドライト, はやぶさ2, リュウグウ

***Corresponding author:** ando.taro.44a@st.kyoto-u.ac.jp

る。これらの olivine には直径約 1.5 μm の Fe-Ni metal を包有するものが存在した。Ivuna には直径約 200 μm の olivine と magnetite の集合体も存在した。

また、最大約 5 μm の Fe-free spinel も面積比 約 3 ppm で普遍的に存在する。1 例、直径約 500 nm の perovskite を包有するものも存在する。また、Ivuna からは hibonite が 1 例発見された。Hibonite は厚さ約 1 μm の板状結晶が積み重なっており、集合体全体の大きさは 3 \times 10 μm であった。高温鉱物である spinel, perovskite および hibonite は CAI との関連を強く示唆する。

EDS による分析ではあるが、Cr 34.5 wt.%, Fe 16.8 wt.%, Zn 4.2 wt.% を含む、Fe, Cr-sulfide と考えられる 5 \times 2 μm の鉱物が 1 点見出された。化学組成からは daubréelite あるいは zolenskyite と考えられる。これらの鉱物は非常に還元的な環境で形成される。こうした鉱物も CIs に取り込まれていることが明らかになった。

CIs の matrix には、5 μm 以上の Fe, Ni-sulfide (pyrrhotite および pentlandite) が普遍的に存在する。最大で約 200 nm の Ir-Os-Pt alloy を包有するものがごく稀に存在する。白金族合金は、非常に高温な環境で形成されたと考えられ、やはり CIs の前駆物質に高温起源の鉱物が含まれることを示している。

References: [1] Anders, E. and Grevesse, N. (1989) *Geochim. Cosmochim. Acta* 53, 197-214. [2] Yada, T. et al. (2022) *Nat. Astronom.* 6, 214-220. [3] Yokoyama, T. et al. (2022) *Science* 10.1126/science.abn7850. [4] Nakamura, E. et al. (2022) *Proc. Japan Acad. Ser. B*, 98, 227-282. [5] Tomeoka, K. and Buseck, P. R. (1988) *Geochim. Cosmochim. Acta* 52, 1627-1640. [6] Frank, D. et al. (2014) *Geochim. Cosmochim. Acta* 142, 240-259. [7] Morin et al. (2022) *Geochim. Cosmochim. Acta*. 2022.06.17 [8] Frank, D. et al. (2011) 42nd LPSC #2785.

小惑星リュウグウ表層粒子の衝撃変成

富岡尚敬^{1,*}, 山口亮², 伊藤元雄¹, 上相真之³, 今栄直也², 白井直樹^{4,5}, 大東琢治^{6,7}, 木村真², Liu Ming-Chang⁸, Greenwood Richard⁹, 上杉健太郎³, 中藤亜衣子¹⁰, 与賀田佳澄¹⁰, 湯沢勇人⁶, 兒玉優[†], 平原佳織¹¹, 櫻井郁也¹², 岡田育夫¹², 唐牛譲¹⁰, 岡崎啓史^{1,13}, 野口高明¹⁴, 三宅亮¹⁴, 宮原正明¹³, 瀬戸雄介¹⁵, 松本徹¹⁴, 伊神洋平¹⁴, はやぶさ2キュレーションチーム, 臼井寛裕¹⁰, 渡邊誠一郎¹², 津田雄一¹⁰ (¹JAMSTEC, ²極地研, ³SPRING-8, ⁴東京都立大, ⁵神奈川大, ⁶分子研, ⁷KEK, ⁸UCLA, ⁹オープン大, ¹⁰JAXA, ¹¹大阪大, ¹²名古屋大, ¹³広島大, ¹⁴京都大, ¹⁵大阪公立大, [†]東陽テクニカ)

Shock metamorphism of the surface particles of asteroid Ryugu

Naotaka Tomioka^{1,*}, Akira Yamaguchi², Motoo Ito¹, Masayuki Uesugi³, Naoya Imae², Naoki Shirai^{4,5}, Takuji Ohigashi^{6,7}, Makoto Kimura², Ming-Chang. Liu⁸, Richard C. Greenwood⁹, Kentaro Uesugi³, Aiko Nakato¹⁰, Kasumi Yogata¹⁰, Hayato Yuzawa⁶, Yu Kodama[†], Kaori Hirahara¹¹, Ikuya Sakurai¹², Ikuo Okada¹², Yuzuru Karouji¹⁰, Keishi Okazaki^{1,13}, Takaaki Noguchi¹⁴, Akira Miyake¹⁴, Masaaki Miyahara¹³, Yusuke Seto¹⁵, Toru Matsumoto¹⁴, Yohei Igami¹⁴, Hayabusa2 Curation Team, Tomohiro Usui¹⁰, Sei-ichiro Watanabe¹², Yuichi Tsuda¹⁰ (¹JAMSTEC, ²NIPR, ³SPRING-8, ⁴Tokyo Metro. U., ⁵Kanagawa U., ⁶UVSOR, IMS, ⁷KEK, ⁸UCLA, ⁹Open U., ¹⁰ISAS, ¹²Osaka U., ¹³Nagoya U., ¹⁴Hiroshima U., ¹⁵Kyoto U., [†]Osaka Metro. U.)

探査機はやぶさ2は、2020年12月にC型小惑星リュウグウの表層粒子を地球に持ち帰った。JAXAにて試料カプセルが開封され、回収粒子の最初期記載が行われた後[1]、2021年春より各分析チームによる多角的な分析が続けられている。

リュウグウはC型小惑星に属し、CI, CMに代表される含水の炭素質コンドライト的物質から構成されると考えられてきた。リュウグウはレゴリスに覆われたラブルパイル天体であり、過去に大小さまざまな衝突イベントを経験したことを示唆している[2]。含水小惑星が強い衝撃加熱を受けた場合、水蒸気を主とする脱ガスにより激しい粉碎が生じ、無水の小惑星と比較してより多くのダストが形成されうること、宇宙塵に対応した鉱物学的なバリエーションが生じること、がCMの衝撃回収実験によって提案されている[3,4]。本研究では、SEM, TEMを用いたリュウグウ粒子の微細組織観察から、その鉱物学的特徴と衝撃変成組織を探ることを目的とした。

リュウグウ粒子はいずれも、主にサーペンティン、サポナイト、マグネタイト、ピロータイト、ペントランダイトから構成され、粒子によってはド

ロマイトも多く含まれる。鉱物学的特徴と元素同位体組成を基に、リュウグウ粒子はCIコンドライト的物質であることが明らかになった[5-7]。一部のリュウグウ粒子の極表面は宇宙風化層を持ち、微小衝突による層状ケイ酸塩の脱水分解が示唆されている[8]。しかしながら、観察した個々の粒子は、全体としては顕著な衝撃効果を示さず、脱水も破碎も限定的であることが明らかとなった。一方で、衝撃による微細断層と考えられる剪断変形組織や、硫化物の高圧相が確認された。本講演では、これらの組織からリュウグウ粒子が経験した衝撃圧力を評価する。

参考文献: [1] Yada et al. (2021) *Nat. Astron.*, 6, 214–220. [2] Morota et al. (2020) *Science*, 368, 654–659. [3] Tomeoka et al. (2003), *Nature*, 423, 60–62. [4] Tomioka et al. (2007) *MAPS*, 42, 19–30. [5] Yokoyama et al. (2022) *Science*, eabn7850. [6] Nakamura et al. (2022), *Proc. Japan Acad. B*, 98, 227–282. [7] Ito et al. (2022) *Nat. Astron.* (in press), [8] Noguchi et al. (2022) *53rd LPSC*, 1747.pdf

Keywords: Hayabusa2, asteroid Ryugu, shock metamorphism, SEM/TEM

*Corresponding author: tomioka@jamstec.go.jp

Oral presentation | R7: Petrology, Mineralogy and Economic geology (Joint Session with Society of Resource Geology)

📅 Sat. Sep 17, 2022 9:30 AM - 12:30 PM JST | Sat. Sep 17, 2022 12:30 AM - 3:30 AM UTC | 🏠 B253 Adv. Edu. Res. Bldg. E-2F

R7: Petrology, Mineralogy and Economic geology (Joint Session with Society of Resource Geology)

Chairperson: Norikatsu Akizawa(The Univ. Tokyo), Taakuya Echigo(Akita Univ.)

[Chairperson]

Norikatsu Akizawa: R7-01 - R7-05

Takuya Echigo: R7-06 - R7-11

9:30 AM - 9:45 AM JST | 12:30 AM - 12:45 AM UTC

[R7-01] Amphibole in highly depleted peridotite

*Akihiro Tamura¹, Ikuya Nishio¹, Shoji Arai¹, Tomoaki Morishita¹ (1. Earth Sci, Kanazawa Univ.)

9:45 AM - 10:00 AM JST | 12:45 AM - 1:00 AM UTC

[R7-02] Plausible candidates of the IOA-IOCG type magnetite ore deposits in the Kanto Mountains.

*Atsushi MIYASHITA¹, Hiroyasu MURAKAMI² (1. Seikei Univ., 2. Waseda Univ.)

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[R7-03] Chemical composition of tourmaline from Li-pegmatite of Myokenzan, Ibaraki prefecture, Japan

*Takuya Echigo¹, Hotaka Ishizawa¹, Yasushi Watanabe¹ (1. Akita Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[R7-04] Characteristics of the granite from the Iwafune pluton and its relation with the Takatori deposit, Ibaraki Prefecture

[Presentation award entry]

*Haruki Yamazaki¹, Terumi Ejima¹, Yoshiaki Kon², Yuki Tsunazawa² (1. Shinshu Univ. Sci., 2. GSJ, AIST)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[R7-05] The mechanism of bipyramidal quartz formation in Kuroko deposits

[Presentation award entry]

*Jumpei Sugioka¹, Ryoichi Yamada¹, Atsushi Okamoto¹ (1. Tohoku Univ. Env.)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[1Lecture-201-11-6add] Break time

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[R7-06] Melt inclusions containing platinum group minerals in Tahitian mantle xenolith

[Presentation award entry]

*Itaru Mitsukawa¹, Tetsu Kogiso¹, Norikatsu Akizawa², Tomoki Taguchi³, Kentaro Uesugi⁴, Akihisa Takeuchi⁴, Masanori Yasutake⁴, Akira Tsuchiyama^{5,6}, Megumi Matsumoto⁷, Junya Matsuno⁶, Shota Okumura¹, Yohei Igami¹, Akira Miyake¹ (1. Kyoto Univ., 2. Univ. of Tokyo, 3. Waseda Univ., 4. SPring-8/JASRI, 5. Guangzhou Inst. of Geochem., CAS, 6. Ritsumeikan Univ., 7. Tohoku Univ.)

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[R7-07] Hydrocarbon fluid in authigenic quartz from Torinosu limestone at Sakawa Town, Kochi Prefecture, southwestern Japan

[Presentation award entry]

*Taro Kido¹, Masanori Kurosawa², Kei Ikehata² (1. Univ. Tokyo, Sci, 2. Life Env. Sci., Univ. Tsukuba)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[R7-08] Formation of anorthite megacrysts from their inclusions in the Mt. Kayo, Oguro lava in Akita Prefecture

*Takeyoshi Nishiwaki¹, Takuya Echigo¹ (1. Akita Univ. Sci)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[R7-09] In-situ heating TEM experiments of minerals with laser irradiation system

*Akira MIYAKE¹, Yuki SUZUKI¹, Yohei Igami¹, Ryuichi Nomura², Mitsutaka Haruta², Ichiro Ohnishi³, Hiroki Hashiguchi³ (1. Kyoto Univ. Sci., 2. Kyoto Univ., 3. JEOL Ltd.)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[R7-10] Thermal structure of the oceanic crust as a proxy for the spreading rate: X-tal size geothermometer of the sheeted dikes in the Oman Ophiolite

*Susumu Umino¹, Ayumi Okugawa⁵, Atsushi Toramaru², Yuki Kusano³, Sumio Miyashita⁴, Yoshiko Adachi⁶, Akihiro Tamura¹, Tomoaki Morishita¹ (1. Kanazawa Univ., 2. Kyushu Univ., 3. AIST, 4. HRCG, 5. YKK, 6. CRIEPI)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[R7-11] The magmatic conditions and hypersolidus deformation of lower crustal magma chamber below a fast-spreading ridge. Insight from the core analyses of the Oman ICDP drill holes GT1A and GT2A

*Trinh Nguyen¹, Susumu Umino¹, Takahiro Fudai³, Yuki Kusano², Osamu Ishizuka², Akihiro Tamura¹, Tomoaki Morishita¹ (1. Kanazawa University, 2. AIST, 3. Pacific Cement, Co. Ltd.)

高枯渇度かんらん岩中の角閃石： 高Crスピネルと高Siメルトの関係

田村明弘*・西尾郁也・荒井章司・森下知晃（金沢大学・地球）

Amphibole in highly depleted peridotite

A. Tamura*, I. Nishio, S. Arai and T. Morishita (Earth Sciences, Kanazawa Univ.)

スピネルかんらん岩は上部マントルを代表する岩石で、部分溶融によりマグマを生成した溶け残り岩である。かんらん岩中のスピネルのCr# ($=Cr/[Cr+Al]$ 比) は部分溶融度のよい指標とされ、輝石中の希土類元素などのインコンパチブル元素組成からは溶融時の物質の流入などの情報が得られる。

中央海嶺下のマグマ生成の溶け残り岩とされる「海洋底かんらん岩」では、Cr#は0.55に及ぶが、0.3以下が卓越する。一方、海溝付近の海底で得られる「前弧域かんらん岩」ではCr#は0.8に達し、海洋底かんらん岩に比べ溶融度が高いことが知られている。これは沈み込んだプレートからの物質の流入による、含水下での溶融とされる。このような溶融度の高いかんらん岩は、沈み込み帯に特徴的なボニナイトマグマの生成との起源関係が議論されている。

パプアニューギニアやニューカレドニアのオフィオライトにはハルツバーガイトでスピネルのCr#が0.8を超える、異常に部分溶融度が高い「高枯渇度かんらん岩」が産する (Xu et al., 2021; Barrett et al., 2022)。日本国内では、北海道、神居古潭帯北部の幌加内オフィオライトに産している (Igarashi et al., 1985; 加藤・中川, 1986; 田村ほか, 1999)。本発表では、幌加内オフィオライトのマントルセクション (幌加内岩体・鷹泊岩体) のかんらん岩の成因とともに、かんらん岩中の角閃石について報告する。

両岩体は単斜輝石を含まないハルツバーガイト・ダナイトを主体とする。かんらん岩中

には、しばしば細粒な直方輝石が認められ、ハルツバーガイトからダナイトへのモード変化は遷移的である。スピネルのCr#は0.7以上が卓越し、0.88に達する。直方輝石の Al_2O_3 含有量は低く (< 0.7 wt%), インコンパチブル元素が著しく枯渇している ($Y < 0.01$ ppm, $Ti \approx 2$ ppm)。これに対しZr含有量は比較的高く (≈ 0.02 ppm), この関係は物質の流入を伴う部分溶融を反映している。

ハルツバーガイト中の角閃石はパーガサイト/エデナイト組成 ($Al_2O_3 \approx 8$ wt%, $Na_2O \approx 2.5$ wt%) で、かんらん石や直方輝石粒間および金雲母 (Naフロゴパイト) とともにスピネル中の包有物としても認められる。共存するスピネルはアメーバ状の不定形や包有物による虫食いの形状を呈する。

これらのハルツバーガイト/ダナイトの形成では、流体による含水下での部分溶融が考えられ、Siに富むメルトの生成が期待できる。著しく高いスピネルのCr#は、ボニナイトメルトの溶け残り岩としても調和的である。角閃石の微量元素組成からは、著しく枯渇した組成のメルトの存在が示唆され、スピネル中の包有物としても認められることから、溶融時にトラップされた含水メルトに由来すると考えられる。

また、低温での蛇紋岩化作用の際には、この角閃石の分解・変質により、かんらん岩体内および周囲の岩石中への二次的な元素の移動が想定される。

Keyword : Na

*Corresponding author : aking826@gmail.com

関東山地 IOA-IOCG 型磁鉄鉱鉱床候補

宮下 敦 (成蹊大理工), 村上浩康 (早大教育)

Plausible candidates of the IOA-IOCG type magnetite ore deposits in the Kanto Mountains.

Atsushi MIYASHITA* (Seikei Univ.), Hiroyasu MURAKAMI (Waseda Univ.)

In the Kanto Mountains, some Neogene magnetite ore deposits have features such as (1) formed near the tectonic line; (2) accompanied by hydrothermal brecciation of host rocks; (3) with actinolite or chlorite and carbonate alteration; (4) with REE-rich minerals; (5) magnetites including chlorapatite inclusions; (6) high formation temperature above 500°C. These characteristics indicate that these magnetite ore deposits are the IOA-IOCG type candidates in Japan. These ore deposits are thought to have formed a metallogenic province with the Miocene to Pliocene granodiorite.

関東山地には従来、第三紀鉄スカルン型に分類されてきた磁鉄鉱鉱床が分布している(Nakaono et al., 1990). このうち、中小坂鉱山磁鉄鉱鉱床は、今回の詳細な調査により、スカルン型ではなく、緑泥石-炭酸塩変質帯中の塊状磁鉄鉱鉱床であることが明らかになった。中小坂鉱山は、中央構造線に近く、鉱体を含めて周辺は角礫化を伴い、変質鉱物は数%の塩素を含んでいる。また、磁鉄鉱は、自形の燐灰石包有物を含む含ケイ素磁鉄鉱であり、一部に所謂 **Mushketovite** 様組織を示す。硫化物は、少量の磁硫鉄鉱と砒鉄鉱-硫砒鉄鉱を伴っている。予察的に得られた蛍石細脈の流体包有物充填温度および砒鉄鉱-硫砒鉄鉱の化学組成は、500°C以上の高温条件を示している。これらの特徴は、酸化鉄-燐灰石 (IOA)型あるいはキルナ型の磁鉄鉱鉱床のそれとよく一致する。

同様に、秩父鉱山ウズノ沢鉱床および甲武信鉱山梓山鉱床は、スカルンを伴う塊状磁鉄鉱鉱床であるが、共に、仏像構造線や秩父帯サブユニット断層近傍に胚胎され、磁鉄鉱は含ケイ素磁鉄鉱であり、自形の塩素燐灰石包有物を含む。加えて、ウズノ沢鉱

床は、透輝石と含 Ce 緑れん石などを伴う。また、甲武信鉱山では、El Lako 鉱床等でも認められるチタン鉄鉱離溶組織を持つ磁鉄鉱(離溶前はチタノマグネタイト組成)が見出されている。これらの特徴は、チリの鉄ベルト地帯に見られる酸化鉄-銅-金 (IOCG)型磁鉄鉱の特徴と類似している。

関東山地 IOA-IOCG 型候補の鉱体の磁鉄鉱について、Palma et al., (2021)の磁鉄鉱地質温度計を摘要すると、生成温度条件には差が見られ、秩父鉱山ウズノ沢が最も高温で、中小坂鉱山、甲武信鉱山梓山の順になる(図1)。これらの磁鉄鉱鉱体の関連火成岩は、中新世末~鮮新世の花こう岩マグマ活動と推定されており、IOA-IOCG 型磁鉄鉱鉱床区を形成していたと推定される。

これまで、日本列島では IOA-IOCG 型磁鉄鉱鉱床の報告はなかったが、これらの鉱床は同タイプの有力候補と考えられる。

引用文献

Nakano et al., (1990), *Econ. Geol.*, 85, 794-815.

Palma et al., (2021), *Nature*, 11:18424.

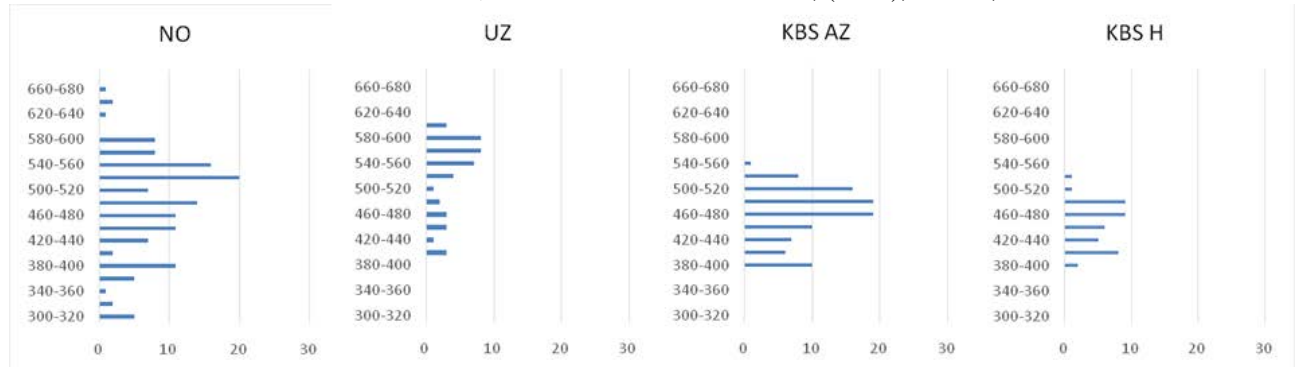


図1. 磁鉄鉱温度計(Palma et al., 2021)を用いた形成温度推定値のヒストグラム。KBS Hは離溶後の組成

Keywords: Magnetite, IOA-IOCG type, Skarn

*Corresponding author: miya@st.seikei.ac.jp

茨城県妙見山リチウムペグマタイトに産する電気石の化学組成

越後拓也・石澤ほたか・渡辺寧 (秋田大院・国際資源)

Chemical composition of tourmaline from Li-pegmatite of Myokenzan, Ibaraki prefecture, Japan

Takuya Echigo*, Hotaka Ishizawa, Yasushi Watanabe (Akita Univ.)

The chemical compositions of tourmaline from lithium pegmatites at Myoukenzan, were analyzed using EPMA. The tourmaline samples from this deposit can be classified into five types: black, indigo, dark green, watermelon, and pink. For each type of tourmaline samples, chemical composition was measured and the apfu was calculated. Our results identified those tourmaline as schorl-elbaite series. In addition, as the differentiation evolved, Fe tends to decrease and Li and Al tends to increase. This difference in chemical composition can be reflected as the difference in color.

1. はじめに

茨城県常陸太田市に位置する妙見山は、日本国内でも数少ない、リチウム含有鉱物を産するペグマタイトである。(櫻井ら, 1977; Matsubara, et al. 1995). 本ペグマタイトより産する鉱物のうち、電気石はさまざまな鉱物とともに産出し、また共生鉱物により色の違いがあることから、色の違う電気石の化学組成の違いについて考察すべく、EPMA-WDSを用いて化学組成測定を行った。

2. 試料の産状

本産地の電気石は、結晶の色によって、(1)黒色タイプ、(2)紺色タイプ、(3)濃緑色タイプ、(4)“ウォーターメロン”(中心部がピンク色・周縁部が緑色)タイプ、(5)ピンク色タイプの5種類に分けられる。これらの5種類は、色のみならず共生鉱物にも違いがある。最初期にできると考えられるのが黒色タイプで、これは曹長石やざくろ石、白雲母とともに産する。つづいて紺色タイプ、濃緑色タイプであり、どちらも石英と白雲母とともに産する。そして“ウォーターメロン”タイプと続く。これはポルックス石やリチア輝石とともに産する。最後にピンク色タイプで、これはリチア雲母や石英とともに主に産するものである。

3. 分析手法

黒・紺・濃緑・ウォーターメロン・ピンクの各タイプの電気石をそれぞれ1試料ずつ、計5試料について分析を行った。化学組成分析は、上述の通りEPMA (JEOL JXA-8230)で行った。なおEPMAではリチウムおよびホウ素、水が計測できないため、化学組成計算についてはClerk (2007)による計算式に基づき求めた。

4. 結果

電気石は $XY_3Z_6T_6O_{18}(BO_3)_3V_3W$ で表される鉱物で、それぞれ $X=Na, Ca, Y=Mg, Fe, Al, Li, Mn, Zn, Z=Al, Fe, Cr, V, T=Si, Al, B=B, V=OH, O, W=$

Keywords : Pegmatite, Tourmaline, Myokenzan, EPMA

Corresponding author: echigo@gipc.akita-u.ac.jp

OH, F, Oといった元素を含む。

化学組成の分析結果から、黒色のものは鉄電気石、その他のものはリチア電気石に分類されるとわかった(図1)。それぞれのタイプの電気石において、Yサイトを占有する元素量 (apfu) が特に顕著な変化を示した。特に鉄は、黒色タイプでは1.51apfuを記録したが、濃緑色タイプでは0.15apfuまで減少し、ピンク色タイプでは検出されなかった。対してリチウムは黒色タイプでは0.30apfuであるが、分化後期に至るにつれ増加し、最終的にピンク色タイプでは0.89apfu程度まで増加した。

5. 考察

今回の分析によって、電気石の化学組成が結晶分化を経るごとに鉄が減少し、アルミニウムやリチウムが増加していくことが明らかになった。このようなコンパティブルからインコンパティブル元素への推移は同じく国内のリチウム鉱物産地である長垂に産する電気石の分析結果(Shirose and Uehara, 2013)の傾向とも一致する。本研究で確認された電気石の色の違いは、こうした化学組成の違いを反映したものである。

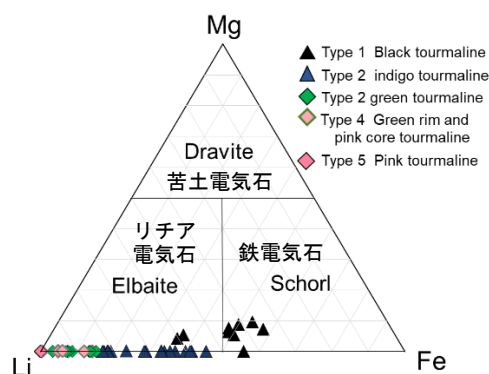


図1 妙見山ペグマタイト産電気石のYサイトにおけるMg-Li-Fe量 (apfu) を示す三角ダイアグラム。電気石の化学組成が鉄電気石からリチア電気石にかけて変化していることを示す。

茨城県岩船岩体の花崗岩の特徴と高取鉍床との関連性

山崎陽生*, 江島輝美(信州大・理), 昆慶明, 綱澤有輝(産総研)

Characteristics of the granite from the Iwafune pluton and its relation with the Takatori deposit, Ibaraki Prefecture

Haruki Yamazaki*, Terumi Ejima (Shinshu Univ. Sci.), Kon Yoshiaki, Yuki Tsunazawa (GSJ, AIST)

The trace element composition and zircon U–Pb age of granites from the Iwafune pluton were investigated to reveal the relation between the Takatori deposit and the granite. The granites are ilmenite series and contain high amount of Ga, Rb and Sn. The zircon U–Pb age of the granite lies within the range between the age of forming the Takatori deposit and the minimum age of aplite from that. The results are indicated that the granite of the Iwafune pluton might be associated with the granite that formed the Takatori deposit.

高取鉍床は茨城県城里町に位置する、スズ–タングステン鉍床である。瀧本(1941)は、高取鉍床の北東約 5 km にある岩船岩体の花崗岩を高取鉍床の関連火成岩と推察した。一方、小笠原ほか(1993)は、岩船岩体は閃緑岩から構成されており(通産省・資源エネルギー庁, 1986)、高取鉍床を形成するにはやや苦鉄質であることを指摘し、岩船岩体は高取鉍床の関連火成岩ではないと推察した。

岩船岩体の地質調査においては、瀧本(1941)が報告した花崗岩の存在が確認された(山崎ほか, 2021)。しかし、先行研究において、この花崗岩と高取鉍床の関連性は検証されていない。したがって、本研究では花崗岩の微量元素組成およびジルコン U–Pb 年代により、花崗岩と高取鉍床の関連性についての解明を行う。

岩船岩体は主に閃緑岩から構成され、花崗岩は閃緑岩の南東部の東西 300 m の範囲に分布している。帯磁率は $0.09\text{--}0.21 \times 10^{-3}$ SI であり、イルメナイト系列の花崗岩である。花崗岩は、アルカリ長石、石英、斜長石および黒雲母から構成され、副成分鉍物として黄鉄鉍、チタン石、イルメナイト、アパタイト、ジルコン、ルチルおよびモナ

ズ石を含む。全岩化学組成は、 SiO_2 が 70.4–71.8 wt%, Ga が 27.5–29.7 ppm, Rb が 272–341 ppm, Sn が 3.5–4.7 ppm である。

スズ–タングステン鉍床を形成する花崗岩はイルメナイト系列であり(Ishihara, 1981)、岩船岩体の花崗岩も同様である。花崗岩の微量元素組成は、高取鉍床のアプライトのもの(Ga: 29.6–33.2 ppm, Rb: 340–410 ppm; 小笠原ほか, 1993)と類似し、高い Ga, Rb の値を示す。また、タングステン鉍床の指示元素となりうる Sn(石原, 2002)は、岩船岩体のものは 3.5–4.8 ppm と比較的高い値を示し、西南日本のタングステン鉍床区の花崗岩のもの(1.0–12.4 ppm, 中央値 4.6 ppm; 石原, 2002)と一致する。岩船岩体の花崗岩のジルコン U–Pb 年代(64.6 ± 2.1 Ma: 山崎ほか, 2021)は、高取鉍床の鉍床形成年代とアプライトの貫入年代の最小値の範囲(71.8–57.3 Ma: Shibata and Ishihara, 1974; 小笠原ほか, 1993)に入る。したがって、岩船岩体の花崗岩と高取鉍床を形成した花崗岩は、同時期の火成活動によって形成されたと考察される。これらの結果から、岩船岩体の花崗岩は高取鉍床を形成した花崗岩と関連する可能性が高いと言える。

Keywords: granite, Iwafune pluton, tin–tungsten deposit, Takatori deposit

*Corresponding author: h.yamazaki@tutanota.de

黒鉱鉱床における両錐石英の形成メカニズム

杉岡 純平*・山田 亮一・岡本 敦（東北大・院環境）

The mechanism of bipyramidal quartz formation in Kuroko deposits

Jumpei Sugioka*, Ryoichi Yamada, Atsushi Okamoto (Tohoku Univ. Env.)

We analyzed Kuroko ore specimens and conducted hydrothermal experiments to discuss the mechanism of bipyramidal quartz formation in Kuroko deposits. Fluid inclusion microthermometry revealed that the bipyramidal quartz in Kuroko formed in fluid at about 300°C. Hydrothermal experiments revealed that the bipyramidal quartz formed by phase transition from amorphous silica. The bipyramidal quartz is thought to have formed by supersaturation of silica in a fluid maintained at high temperature in the stockworks in the subsurface of the Kuroko deposit.

黒鉱鉱床の鉱石の解析と水熱実験を行い、黒鉱鉱床における両錐石英の形成メカニズムについて考察した。秋田県北鹿地域の花岡鉱山（堂屋敷鉱床、松峰鉱床）から採取した両錐石英を含む黒鉱鉱床の鉱石を解析に用いた。石英粒は自形の両錐形を示し、軸方向の長さが0.01–0.52mm、アスペクト比が~3であった。石英粒に含まれる流体包有物の均質化温度は281–309°Cであり、黒鉱鉱床の両錐石英は約300°Cの流体中で形成したことが明らかになった。また、鉛直流路を持つ実験装置を用いて、予め作成したシリカ水溶液（Si =

~300 ppm）を上向きに流通させた鉱物析出実験を行った。一定圧力で、反応管を流路に沿って加熱することでシリカ鉱物を析出させた。実験は、超臨界条件及び飽和蒸気圧条件において行った。析出物の解析結果から、両錐石英はアモルファスシリカから相変化して形成することが分かった。また、飽和蒸気圧条件においても形成したことから、両錐石英は気液混合相においても成長することが明らかになった。両錐石英は、黒鉱鉱床下部のストックワークにおいて、シリカが高温で過飽和になることによって形成したと考えられる。

Keywords: Quartz, Silica, Kuroko deposits, Submarine hydrothermal deposits, Hydrothermal experiments

*Corresponding author: jumpei.sugioka.r8@dc.tohoku.ac.jp

Oral presentation

R7: Petrology, Mineralogy and Economic geology (Joint Session with Society of Resource Geology)

Chairperson: Norikatsu Akizawa(The Univ. Tokyo), Taakuya Echigo(Akita Univ.)

Sat. Sep 17, 2022 9:30 AM - 12:30 PM B253 (Adv. Edu. Res. Bldg. E-2F)

[Chairperson]

Norikatsu Akizawa: R7-01 - R7-05

Takuya Echigo: R7-06 - R7-11

10:45 AM - 11:00 AM

[1Lecture-201-11-6add]Break time

タヒチ島産マントルカンラン岩中の白金族鉱物を含むメルト包有物
三津川到¹, 小木曾哲¹, 秋澤紀克², 田口知樹³, 上杉健太郎⁴, 竹内晃久⁴, 安武正展⁴,
土山明^{5, 6}, 松本恵⁷, 松野淳也⁶, 奥村翔太¹, 伊神洋平¹, 三宅亮¹

(¹京都大, ²東京大, ³早稲田大, ⁴SPring-8/JASRI,
⁵広州地球化学研究所, ⁶立命館大, ⁷東北大)

Melt inclusions containing platinum group minerals
in Tahitian mantle xenolith

I. Mitsukawa^{1*}, T. Kogiso¹, N. Akizawa², T. Taguchi³, K. Uesugi⁴, A. Takeuchi⁴, M. Yasutake⁴,
A. Tsuchiyama^{5,6}, M. Matsumoto⁷, J. Matsuno⁶, S. Okumura¹, Y. Igami¹, A. Miyake¹
(¹Kyoto Univ., ²Univ. of Tokyo, ³Waseda Univ., ⁴SPring-8/JASRI,
⁵Guangzhou Inst. Geochem., CAS, ⁶Ritsumeikan Univ., ⁷Tohoku Univ.)

白金族元素 (Platinum Group Elements, PGE) は、核-マントル分離や始原的物質の降着といった初期地球の進化過程を制約する上で重要な地球化学的トレーサーである。これまで天然のマントルカンラン岩を用いて仮想的な始原的マントル (Primitive mantle = PM) の PGE 組成が推定されてきた^[1]。しかし、マントルカンラン岩の PGE 組成は、メルトや流体の影響により二次的に変化することが知られており^[2]、正確な PM の PGE 組成推定のためにはマントル内部における PGE の分布や輸送機構を明らかにする必要がある。そのためには、マントルカンラン岩中において PGE の主要なホスト鉱物である Fe-Ni-Cu 硫化鉱物と白金族鉱物の記載が重要である^[3]。特に包有物として分布しているものは、地表付近での風化や侵食を免れていると考えられるため重要である^[4]。マントルカンラン岩中の Fe-Ni-Cu 硫化鉱物や白金族鉱物は、一般的に数 10 μm 以下と微小である。しかし、先行研究では、二次元的かつ μm スケールで記載が行われている場合が多く、三次元的な分布や体積比、他の相との共存関係が明確に示されてこなかった。

我々はこれまでに、タヒチ島産マントルカンラン岩捕獲岩中のメルト包有物に対して放射光 X 線 CT 撮影を実施し、PGE を含む数 μm 以下のメルト包有物を三次元的に μm 以下の空間分解能で記載してきた。その結果、単斜輝石中にメルト包有物として分布している Fe-Ni-Cu 硫化鉱物中に、先行研究における記載よりも多量 (約 4.4 vol%) の白金族鉱物が含まれていることを見出した^[5]。また、白金族鉱物と Fe-Ni-Cu 硫化鉱物は、珪酸塩ガラスや“流体らしき相”と様々な量比で共存していることが分かった。

本研究では、白金族鉱物と共存する“流体らしき相”に着目して、その相同定を目的にラマン分光分析を行った。さらに、同じ単斜輝石中に分布する別のメルト包有物に対して透過型電子顕微鏡 (TEM) とエネルギー分散型 X 線分光装置 (EDS) を用いた組成分析を行った。

Keywords: Platinum Group Elements, Bitumen, Melt inclusion, Raman spectroscopy, Tahiti Island

*Corresponding author: mitsukawa.itaru.35x@st.kyoto-u.ac.jp

“流体らしき相”に対してラマン分光分析を行った結果、1360、1600、3000 cm⁻¹ 付近に珪酸塩ガラスや硫化鉱物由来のピークとは明確に異なるブロードなピークが得られた。しかし、先行研究^[6]で報告のある二酸化炭素等の主要な気相のピークは得られなかった。“流体らしき相”から得られたラマンスペクトルは、主に高分子炭化水素から得られるラマンスペクトルに類似しており、その中でも特に瀝青質物質のラマンスペクトルと類似している。“流体らしき相”が瀝青質物質であれば、白金族鉱物を多量に含むメルト包有物が還元的な環境で包有されたことを示唆している。

さらに、白金族鉱物を含むメルト包有物が分布していた単斜輝石中の別のメルト包有物を含むように、厚さ 1 μm の TEM 用試料を、集束イオンビーム加工装置 (FIB) を用いて作製し、STEM-EDS 分析を行った。その結果、Fe-Ni-Cu 硫化鉱物中に Ir や Pt を含む白金族鉱物が見られた。しかし、“流体らしき相”の領域からは、明確に“流体らしき相”由来であると考えられる元素は確認できなかった。その原因としては、消失してなにも存在していなかった、または試料による特性 X 線の吸収の影響、組成分析を行った“流体らしき相”が瀝青質物質以外の物質であるなどの可能性が考えられる。今後、白金族鉱物と共存する“流体らしき相”に対してより詳細な分析を行っていくことで、多量の白金族鉱物を含むメルト包有物の形成環境を制約することが期待される。

[引用文献]

¹Becker et al., 2006, *Geochim. Cosmochim. Acta*, **70**, 4528-4550

²Alard et al., 2000, *Nature*, **407**, 891-894

³Lorand et al., 2008, *Elements*, **4**, 247-252

⁴Akizawa et al., 2020, *Can. Mineral.*, **58**, 99-114

⁵三津川ほか, 2022 日本地球惑星科学連合 2022 年大会

⁶Akizawa et al., 2017, *Chem. Geol.*, **475**, 87-104

高知県佐川町鳥巢石灰岩の自生石英中の炭化水素流体包有物の 産状と化学的特徴

城戸 太朗* (東大理院), 黒澤 正紀, 池端 慶 (筑波大・生命環境)

Hydrocarbon fluid inclusions in authigenic quartz from Torinosu limestone at Sakawa, Kochi Prefecture, southwestern Japan

Taro Kido* (Univ. Tokyo, Sci), Masanori Kurosawa, and Kei Ikehata (Life Env Sci., Univ. Tsukuba)

Hydrocarbon fluid inclusions trapped in authigenic quartz from the Jurassic Torinosu limestone at Sakawa town, Kochi Pref., Japan were characterized by measurements of UV fluorescence, homogenization temperature, and Raman spectra to investigate behaviors of hydrocarbon fluids in organic-rich calcareous sediments from southwestern Japan.

堆積岩中に存在する炭化水素は、続成作用の過程で生物源有機物から主に生成されるとされ、特に有機物に富む石灰岩中のものは、原油の起源物質として重視されている。石灰岩は続成作用の過程で、方解石や石英を自生鉱物として析出することがあり、周囲の流体を流体包有物として捕獲することも知られている。そこで、本研究では研究例の少ない島弧・大陸縁辺部の堆積岩中の炭化水素流体の化学的特徴を検討するため、高知県佐川町の石灰岩の自生石英中の炭化水素流体包有物について紫外線励起観察、均質化温度の測定、顕微ラマン分光測定を行った。

試料には、佐川町の鳥巢石灰岩中の晶洞に自生する石英と、石灰岩に随伴する砂質岩の裂罅に自生する石英の両面研磨片を用いた。自生石英は、大きさ数mmの両錐自形結晶で、石灰岩中の晶洞や砂岩中の裂罅に方解石・黄鉄鉱の自形結晶や瀝青質炭質物の微粒と共に自生していた。両者の石英内部には大きさ数十 μm の多量の流体包有物と少量の瀝青質炭質物・方解石結晶の固相包有物が含まれていた。流体包有物は液相+気泡±微小瀝青質析出物から構成され、多量の液相包有物と少

量の気相包有物からなっていた。紫外線照射では、9割近くの液相包有物が青色蛍光を示し、少量が緑色や黄色の蛍光を、無蛍光の包有物も稀にあった。このことから、芳香族化合物を主体とする炭化水素流体であることが推測された。

液相包有物の均質化温度は、石灰岩中の石英試料で45~49 $^{\circ}\text{C}$ (最頻値)、砂岩中の石英試料で35~39 $^{\circ}\text{C}$ (最頻値)であり、後者の包有物は室温でほぼ沸騰状態にあった。石灰岩中の瀝青質炭質物と石英試料の液相包有物を顕微ラマン分光法で測定すると、多環芳香族化合物に特徴的な1350 cm^{-1} と1600 cm^{-1} 付近のピークが認められ、芳香族化合物を多量に含むことが確認された。液相包有物および気相包有物に H_2O と CO_2 に由来するピークは確認されなかった。

分析結果から、石灰岩中の炭化水素流体は、数個のベンゼン環が結合した多環芳香族化合物を多量に含むことが分かった。炭化水素流体包有物の均質化温度は炭化水素の分解程度(熟成度)と密接で、今回の低い温度は複雑な生物源有機物の分解が進み、簡単な構造となった多環芳香族化合物の存在と調和的であった。

Keywords: hydrocarbon fluid inclusion, authigenic quartz, UV fluorescence, homogenization temperature, Raman spectra

*Corresponding author: kido-taro310@g.ecc.u-tokyo.ac.jp

秋田県荷葉岳大黒溶岩に含まれる灰長石巨晶の成因： 包有物からの考察

西脇健凱・越後拓也（秋大院・国際資源）

Formation of anorthite megacrysts in Oguro lava of Mt. Kayo, Akita Prefecture: Insights from their inclusions

Takeyoshi Nishiwaki*, Takuya Echigo (Grad. School Internat. Res. Sci., Akita Univ)

火山岩を構成する斑晶鉱物のうち、粒径が著しく大きく An 成分が高い斜長石（典型的には粒径 1cm 以上かつ An > 90）は灰長石巨晶と呼ばれ、日本列島産火山岩に特徴的な鉱物であることが知られている (Kimata et al. 1995). 灰長石巨晶形成の生成機構として複数の仮説が提案されているが、灰長石巨晶の内部構造や化学ゾーニングを考慮したモデルはない。本研究では、秋田県仙北市荷葉岳火山に産出する灰長石巨晶の鉱物学的特徴を記載し、得られた分析結果に基づき荷葉岳火山に産出する灰長石巨晶の成因を考察する。

研究試料は荷葉岳の南側に分布する大黒溶岩の下部および上部から採取された玄武岩質火山岩である。偏光顕微鏡観察により、斑晶鉱物は普通輝石と灰長石、石基は自形斜長石からなり、まれに灰長石斑晶が融食して丸くなった普通輝石を包有していることが観察できた (図)。EPMA を用いた観察により、灰長石斑晶には低 An#(50% 程度)な部分と高 An#(83%-86%)な部分があり、以下のような産状を示すことが明らかになった: (1) 中心部が高 An#で縁辺部は石基斜長石と近い An#を示す正累帯型、(2) 高 An#の中心部から低 An#の縁辺部に至るまでに、正累帯と逆累帯を繰り返す波状累帯型、(3) ひとつの斑晶中に複数の高 An 領域が島状に存在し、その間を低 An 斜長石が埋めるように晶出した合体型の 3 型である。正累帯型は大黒溶岩の下部から上部まで普遍的に存在し、波状累帯型は主に大黒溶岩とその上位層の前郷溶岩との境界部で採取した試料で観察された。合体型は大黒溶岩上部の発泡が著しい転石か

Keywords: Anorthite megacrysts, Mt Kayo, EPMA, Chemical zoning, Crystal growth

*Corresponding author: nagaseelectronics@gmail.com

ら採取した試料で観察された。

以上の結果から荷葉岳火山の灰長石巨晶の成因と生成環境を考察する。まず、一部の灰長石斑晶に融食した普通輝石が包有されることは、比較的高い圧力のもと、普通輝石が灰長石よりも先に晶出し、その後、普通輝石の安定条件から外れた環境下で灰長石が晶出した可能性が Bindeman & Bailey (1999) の数値実験の結果から示唆される。また、波状累帯型構造を持つ灰長石巨晶の存在は、比較的分化したマグマだまり中に未分化なマグマが複数回注入されるようなマグマ混合が灰長石巨晶の成長に寄与したことを示す。さらに合体型においては、高 An 部分と低 An 部分の境界が比較的不明瞭であり、偏光顕微鏡観察で双晶でない部分で消光角度が一致していないことから、灰長石巨晶がマグマ混合によって、比較的大きな近くの斑晶を石基が取り込み合一 (coalescence) を起こし巨晶へ成長したものであると考えられる。分化が進んだマグマと未分化なマグマの混合が起きた際に、高 An なコア部分を取り囲むようにリム部分が晶出したと考察した。

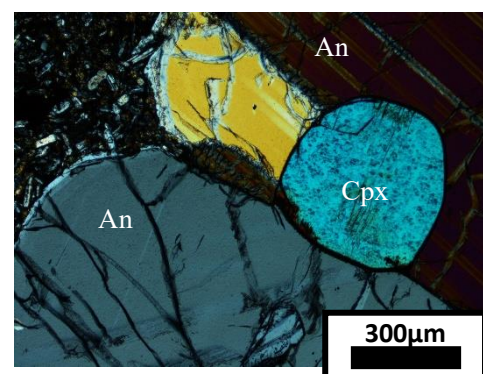


図. 普通輝石を包有する灰長石斑晶

レーザー照射システムを用いた鉱物の 高温その場透過電子顕微鏡観察

三宅亮・鈴木祐希・伊神洋平・野村龍一・治田充貴（京大），
大西市朗・橋口裕樹（日本電子株式会社）

In-situ heating TEM experiments of minerals with laser irradiation system

Akira Miyake*, Yuki Suzuki, Yohei Igami, Ryuichi Nomura, Mitsutaka Haruta (Kyoto Univ.),

Ichiro Ohnishi, and Hiroki Hashiguchi (JEOL Ltd.)

【はじめに】高温その場透過電子顕微鏡(TEM)観察技術として、小型ヒーター炉や金属ワイヤーを組み込んだホルダーが用いられてきたが、近年では MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) チップを用いた加熱ホルダーが主流になってきている。しかし、1500 °Cを超える高温は難しいとされ、また変形実験や他の実験との組み合わせには制限がある。一方、レーザー照射による試料加熱法も古くから検討されており[1]、近年はレーザーの小型化などにより開発や製品化が進み、ますます注目されている（例えば、[2],[3]）。しかし、酸化物、特に珪酸塩鉱物での適用例はほぼない。そこで本研究では、吸光率が小さい鉱物で、さらに TEM 用の超薄膜試料でもレーザー照射により加熱が可能かどうかを確かめるため、珪酸塩鉱物の相転移に注目して、TEM 内でレーザー照射その場加熱実験を行った。

【手法】試料として、相転移温度がわかっている天然石英 (SiO_2 , $P3_121/P3_221$) と合成した単斜エンスタタイト (MgSiO_3 , $P2_1/c$) を用い、比較のため熱伝導率の高いダイヤモンドも用いた。すべて集束イオンビーム装置 (Helios Nanolab G3CX, Thermo Fisher Scientific) を用いて Mo または Cu のグリッドにつけた。使用した透過型電子顕微鏡は、レーザー照射システム(Luminary Micro Compact Specimen Photoexcitation System) を搭載した JEM-ARM300F2 (JEOL)を用いてその場観察実験を行った。用いたレーザー光の波長は 577 nm、最大出力 3 W である。

約 100 mW 刻みで、段階的にレーザーの出力

Keywords: electron microscope, in-situ experiment, laser irradiation

*Corresponding author: miya@kueps.kyoto-u.ac.jp

をあげ、各出力で制限視野電子回折図形を取得した。そこから熱膨張率を計測し、過去の文献値[4]を用いて温度を推定した。

【結果と考察】573.15 °Cで高温相 ($P6_221/P6_421$) へ相転移することが知られている石英のその場観察の結果、1000 mW レーザー照射下から急冷した場合は相転移に伴うドフィーネ双晶は観察できなかったが、1500 mW レーザー照射下からの急冷では相転移に伴う双晶が観察できた。

単斜エンスタタイトは、1000–1100 °C付近で高温型の単斜エンスタタイト ($C2/c$) またはプロトエンスタタイト ($Pbcn$) に相転移することが知られている。単斜エンスタタイトのその場観察の結果では、レーザーの出力が 2300 mW で、特定の回折スポットが消滅し、高温型の単斜エンスタタイト ($C2/c$) へ相転移した。相転移前のレーザー出力 2200 mW における試料温度は、得られた電子回折図形と熱膨張率から見積もったところ、約 1000 °Cであることから、相転移温度は過去の相転移温度と大きくずれていない。これらの結果から、珪酸塩鉱物でもレーザーにより加熱できることがわかった。

一方、非常に熱伝導率の高いダイヤモンドでは、用いたレーザー照射システムの最大出力 3000 mW まで照射したが、熱膨張しなかった、すなわち温度上昇が計測できなかった。

【引用文献】 [1] Takaoka et al. J. Electron Microsc. 38, 95, (1989) [2] Wu et al., Microscopy & Microanalysis, 24, 647, (2018). [3] Grosso et al., Nano Lett., 20, 1041, (2020). [4] Hugh-Jones, American Mineralogist, 82, 689, (1997)

プレート拡大速度の指標としての海洋地殻温度構造： オマーンオフィオライトの岩脈群の結晶粒径温度

海野 進* (金沢大)・奥川歩美 (YKK)・寅丸敦志 (九州大)・草野有紀 (産総研)・宮下純夫 (北海道総合地質)・足立佳子 (電中研) 田村明弘・森下知晃 (金沢大)

Thermal structure of the oceanic crust as a proxy for the spreading rate — X-tal size geothermometer of the sheeted dikes in the Oman Ophiolite

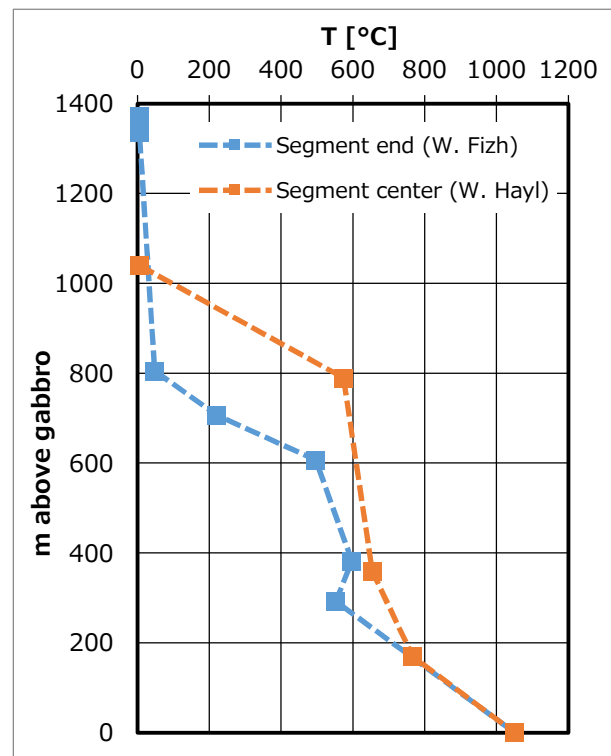
Susumu Umino (Kanazawa Univ.), Ayumi Okugawa (YKK), Yuki Kusano (AIST), Miyashita, S. (HRCG), Yoshiko Adachi (CRIEPI), Akihiro Tamura and Tomoaki Morishita (Kanazawa Univ.)

中・高速で拡大した上部海洋地殻では、海嶺軸に沿ったマグマ供給率の違いに対応して地殻の構造や厚さが系統的に変化する(海野・草野, 2021)。海嶺軸セグメントの中心では浅所にマグマ溜まり頂部のメルトレンズがあり、薄い岩脈群と厚い噴出岩層が発達する。一方、セグメント端では薄いメルトレンズが深所にあるか、存在しない。噴出岩層よりも岩脈群が厚く発達する。セグメント中心の方が端よりもマグマ供給率が高いため、メルトレンズが浅くなると考えられる。

現在の海嶺下の下部地殻についてはよくわからないが、オマーンオフィオライトでは古拡大軸セグメント内の下部地殻構造もセグメント内の位置に応じて変化する。セグメント中心にあたるオマーン北部のWadi ThuqbahやICDPオマーン掘削が行われた南部のWadi Gideahではハイパーソリダス変形が卓越するフォリエーティッドガブロが厚く、顕著なモード層状構造を示す層状ガブロはモホ遷移帯直上のみ分布する。これに対してセグメント端にあたる北部のW. Sadamではシート状岩脈群直下まで厚い層状ガブロが発達する。セグメント中心ではマグマ供給率が高いため、部分熔融した結晶マッシュ状のマグマ溜まりが発達し、厚いフォリエーティッドガブロとなったと考えられる。一方、低マグマ供給率のセグメント端ではマグマ溜まりの冷却が進み、間隙率障壁を生じやすく、上昇するメルトがトラップされてシルとなって層状ガブロが発達したと考えられる。

このように海嶺軸セグメントに沿ってマグマ供給率が変わることに応じて、地殻構造の違いが生じる。従って、高マグマ供給率のセグメント中心の地殻は高温で、低供給率のセグメント端は低温であったと予想される。これを確かめるには海嶺軸直下の温度構造を知る必要がある。われわれが開発した結晶粒径温度計は、岩脈中心付近の結晶粒径から母岩の温度を推定する方法である。北部オマーンオフィオライトのシート状岩脈群に本温度計を適用し、古拡大軸セグメント中心のW. Haylと端にあたるW. Fizehの岩脈群の温度を推定した。セグメント中心では岩脈群を通して600℃以上と高

温であるのに対して、セグメント端では岩脈群上部で200℃以下、下部ではガブロへ向けて温度勾配が急上昇する温度構造を示す。セグメント端では岩脈群上部が熱水循環により、下部は主に熱伝導によって冷却されたと解釈できる。これに対してセグメント中心の様に高温の岩脈群は、上昇する熱水によって岩脈群が加熱されたと考えられる。熱収支のモデル計算の結果、セグメント中心の温度構造を再現できる条件は限られており、これによりプレートの拡大速度を制約できる可能性がある。詳細は本講演において報告する。



海野 進・草野有紀, 地学雑誌,
doi:10.5026/jgeography.130.599.
Umino, S., et al., Scientific Drilling, doi.org/10.5194/sd-29-69-2021.

X-tal size geothermometer, Oman Ophiolite, crustal architecture, geotherm, spreading rate

* sesumin@staff.kanazawa-u.ac.jp

The magmatic conditions and hypersolidus deformation of lower crustal magma chamber below a fast-spreading ridge — Insight from the core analyses of the Oman ICDP drill holes GT1A & GT2A

Trinh Nguyen*, S. Umino, T. Fudai, Y. Kusano, O. Ishizuka, A. Tamura, and T. Morishita

The ICDP Oman Drilling Project drilled the lower crustal section of the Oman Ophiolite in Wadi Gideah, north of Ibra and recovered 400 m long cores each from Hole GT1A and GT2A. Microscope observations and La-ICP-MS analyses were conducted on the core samples to obtain microstructural data and trace element concentrations, which help to understand the magmatic conditions and hypersolidus deformation operated in the lower crustal magma chamber beneath the Oman paleoridge axis.

Progressive downhole variations in cumulate gabbro microstructures are observed throughout the hole GT2A to GT1A. Plagioclase changes from flat, platy crystals with high aspect ratios to short, stubby crystals with wavy outlines. The proportion of primary, cumulus plagioclase decreases from more than 70% to around 3% in GT2A, and from about 7% to less than 1% in GT1A, while that of broken plagioclase increases from approximately 25% to 95%, and from nearly 85% to 90% in GT2A and GT1A, respectively. The amount of recrystallized plagioclase crystals ranges from 0% to 5% in GT2A, smaller than that in GT1A ranging from 5% to 10%. Clinopyroxene is deformed to distorted rectangular shapes with a quarter structure, and then changes into crystals with sub-grains, which eventually forms neoblasts. Equilibrium texture shown by polygonal crystals that meet at a triple junction of obtuse angles around 120° appears in downhole. The percentages of primary clinopyroxene in GT2A drop from 100% to 80%, most of them are more than 90% while in GT1A, they fall from 90% to 60%. In contrast, secondary clinopyroxene crystals including subgrains, neoblasts, and recrystallized grains increase to 20% in GT2A, and vary between 10% and 40% in GT1A. Ophitic clinopyroxene is present throughout the drill holes, although gradually decrease in number downhole.

The progressive deformation and recrystallization of cumulus crystals shown above are associated with compaction of cumulus piles that led to entrapment of interstitial melts. Subsequent cooling of cumulus mushes caused in-situ fractionation of the trapped melts to form zoning in the rims. Most cumulus clinopyroxene shows normal zonings, while there are a few unzoned crystals in GT2A and in the lower GT1A. Trapped melt fractions were estimated by mass balance calculations on the basis of the modes of olivine, clinopyroxene and plagioclase, and the concentrations of La, Ce and Pr in clinopyroxene crystals.

Ophitic texture is present throughout the holes suggesting that all cumulus plagioclase and clinopyroxene crystallized under large degrees of supercooling, which is typically observed in the sheeted dikes and the roof zone upper gabbros. Furthermore, high trapped melt fraction and the common presence of zoned cumulus minerals suggest that both GT2A and GT1A drill holes penetrate the thick foliated gabbros in Wadi Gideah section, which crystallized on the axial melt lens floor and were transported downward in the lower crust.

Keywords: Oman ICDP, GT1A>2A, magma chamber, fast-spreading ridge, foliated gabbro

*Corresponding author: ngttrinhh@hcmus.edu.vn

Oral presentation | S2: Water Rock Interaction (Special Session)

📅 Sat. Sep 17, 2022 10:00 AM - 12:30 PM JST | Sat. Sep 17, 2022 1:00 AM - 3:30 AM UTC | 🏢 B351 Adv. Edu. Res. Bldg. E-3F

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Tsuchiya Noriyoshi(Tohoku Univ.)

[Chairperson]

Noriyoshi Tsuchiya: S2-01 - S2-09

10:00 AM - 10:15 AM JST | 1:00 AM - 1:15 AM UTC

[S2-01] Chloritization and porosity generation at crust-mantle material boundary

*Atsushi Okamoto¹, Oyanagi Ryosuke², Kazuki Yoshida¹ (1. Tohoku Univ. Env., 2. Kokushikan Univ.)

10:15 AM - 10:30 AM JST | 1:15 AM - 1:30 AM UTC

[S2-02] Numerical modelling of ion exchange reactions in sedimentary rocks and its application to natural systems

*Takeyasu Abe¹, Eiichi Ishii¹ (1. JAEA)

10:30 AM - 10:45 AM JST | 1:30 AM - 1:45 AM UTC

[S2-03] Hyalite-like spherules produced from silica-saturated hydrothermal fluid

*Hiroshi Isobe¹, Shosei Ieda² (1. Kumamoto Univ. Fac. Adv. Sci. Tech., 2. Kumamoto Univ. Fac. Sci.)

10:45 AM - 11:00 AM JST | 1:45 AM - 2:00 AM UTC

[S2-04] Effect of silica on iron partitioning during serpentinization

[Presentation award entry]

*Shuhei Tanaka¹, Atsushi Okamoto¹, Kazuki Yoshida¹, Yasuhiro Niwa^{2,3}, Masao Kimura^{2,3}, Masaoki Uno¹, Masakazu Fujii^{4,5} (1. Tohoku Univ. Env., 2. IMSS, 3. KEK, 4. NIPR, 5. The Graduate Univ. for Advanced Studies)

11:00 AM - 11:15 AM JST | 2:00 AM - 2:15 AM UTC

[1Lecture-301-09-5add] Break time

11:15 AM - 11:30 AM JST | 2:15 AM - 2:30 AM UTC

[S2-05] Microtextures of serpentine veins by high resolution X-ray CT

*Satomi Enju¹, Junya Matsuno², Masahiro Yautake³, Megumi Matsumoto⁴, Akira Tsuchiyama^{2,5}, Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³ (1. Ehime Univ. , 2. Ritsumeikan Univ., 3. SPring-8/JASRI, 4. Tohoku Univ., 5. CAS/GIG)

11:30 AM - 11:45 AM JST | 2:30 AM - 2:45 AM UTC

[S2-06] Oceanic and continental alteration fluids recorded in fluid inclusions of carbonate veins in Wadi Dima serpentinite, Oman ophiolite

[Presentation award entry]

*Tomohiro Inukai¹, Tatsuhiko Kawamoto¹, Ohi Shuugo¹, Marguerite Godard² (1. Shizuoka Univ. Sci, 2. Montpellier Univ. CNRS)

11:45 AM - 12:00 PM JST | 2:45 AM - 3:00 AM UTC

[S2-07] Silicate minerals dissolution behaviours and reordered preference in the presence of a chelating agent

*Jiajie Wang¹, Astin Nurdiana¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Uni. GSES)

12:00 PM - 12:15 PM JST | 3:00 AM - 3:15 AM UTC

[S2-08] Fundamental study on enhancement of mineral dissolution by natural chelating agent

[Presentation award entry]

Session

2022 Annual Meeting of Japan Association of Mineralogical Sciences (JAMS)

*Sena Kikuchi¹, Jiajie Wang¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Univ. Environmental sci.)

12:15 PM - 12:30 PM JST | 3:15 AM - 3:30 AM UTC

[S2-09] Formation of magnesium carbonate minerals under high pressure CO₂ conditions

*Yuto Nishiki^{1,2}, Masao Sorai², Tsutomu Sato¹ (1. Eng., Hokkaido Univ., 2. AIST)

[1Lecture-301-09-11add] Session convener greeting

地殻—マントル物質境界における緑泥石化と空隙形成

岡本 敦* (東北大・院環境), 大柳 良介 (JAMSTEC), 吉田 一貴 (東北大・院環境)

Chloritization and porosity generation at crust-mantle material boundary

Atsushi Okamoto* (Tohoku univ. Env), Ryosuke Oyanagi (Kokushikan Univ.), Kazuki Yoshida (Tohoku Univ. Env)

Chloritization is universal phenomena in various geological settings, including the seafloor alteration of basaltic crusts and the metasomatic reactions between crust-mantle boundaries. However, the mechanism of its pervasive alteration mechanism is still unclear. In this study, we report a novel texture of chloritization of pelitic schists in contact with serpentinite from the Sanbagwa belt, Kanto Mountains. The chloritization proceeds with preserving the original structures of pelitic schists (bandings) and original shapes of quartz grains. The microscale porosities were formed at the reaction fronts between chlorite and quartz. We will discuss that mass transport and formation of porosity during chloritization.

緑泥石化作用は、海洋底玄武岩質地殻や地熱地帯における変質作用、また地殻—マントル境界の交代作用として普遍的に観察される。しかし、多量の元素移動を伴う緑泥石化がどのようなメカニズムで広範囲に進行するのかわかっている。本講演では、三波川変成帯関東山地の樋口に産する蛇紋岩体と泥質片岩の間に発達する緑泥石岩の特徴を報告する。アンチゴライトを主とする樋口蛇紋岩体と泥質片岩の間には、蛇紋岩側にトレモライト—緑泥石片岩、泥質片岩側に緑泥石岩が形成している (Okamoto et al., 2021)。前者は、スピネルが残っていることから、蛇紋岩を原岩とするに対して、後者は泥質片岩から連続的に変化している。マスバランス解析により、緑泥石化作用は MgO と H₂O が供給され、SiO₂, Na₂O, K₂O などが溶脱し、Al₂O₃ や TiO₂ は固定されていることがわかった。興味深いことに、この緑泥石岩はグラファイトなどの泥質片岩の構造を完全に残して

おり、かつ、場合によっては Al を全く含まない鉱物である石英粒子であってもその形状を残しながら緑泥石化の置換反応が進行している。産状から、まずは白雲母、緑泥石のレイヤーから反応が始まり、曹長石、石英の順に置換が進み、グラファイト、チタナイト、アパタイトなどは反応せずに残っていることが明らかとなった。さらに、ナノ—マイクロ X線 CT の解析により、石英と緑泥石の境界には明瞭なポアが存在しており、反応フロントで空隙を形成しながら溶解—沈殿が進行していることを示唆している。講演では、観察や分析結果をもとに、体積変化、元素移動、空隙形成を含めたメカニズムを議論する予定である。

参考文献

Okamoto, A. et al. (2021) *Com. Earth . Env.*, 2,151

Keywords: Chloritization, Porosity, Serpentinite, Sanbagawa belt, Mass transfer

*Atsushi Okamoto: atsushi.okamoto.d4@tohoku.ac.jp

堆積岩中のイオン交換反応の数値モデル化と天然への適用

阿部健康* (原子力機構), 石井英一 (原子力機構)

Numerical modelling of ion exchange reactions in sedimentary rocks and its application to natural systems

T. Abe* (JAEA), E. Ishii (JAEA)

Abstract: Ion exchange reactions in sedimentary rocks at Horonobe were numerically investigated. In order to simulate complex exchange reactions during freshening process of fossil seawater, active fraction model was adopted. Our calculation revealed Na-desorption and Ca-adsorption will occur when exchange parameters of the rocks are assumed to be those of soils. This result is consistent with observed depth profile of bulk composition.

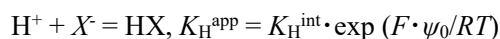
はじめに Introduction

一般産業廃棄物・放射性廃棄物の処分, CO₂ 地下固定等, 地下環境の工学的利用にあたり続成作用の理解が重要であり, 筆者らは反応輸送解析を用いて Forward なアプローチを試みている. 本発表では, 北海道北部天北地域に産する幌延泥岩を対象に実施したイオン交換反応の数値モデル化と, これまでに得られた暫定結果について報告する.

イオン交換反応の定式化 Active fraction model

幌延泥岩は淡水による化石海水洗い出しを経験している (e.g., Mochizuki&Ishii, 2022). 本研究では, これに伴うイオン交換反応系を Na-K-Ca-Mg-H-X (Xはバルク表面)と見なし, Active fraction model (Appelo, 1994)を採用して検討を進めている.

イオン交換の反応基を X と置くと, H⁺交換の半反応式と“みかけ”の平衡定数 K_H^{app} は以下のように書ける (e.g., Sposito, 1984; Stumm, 1992).



F: ファラデー定数, ψ_0 : H⁺位置の静電ポテンシャル, R: 気体定数, T: 絶対温度, K_H^{int} : 真の平衡定数
ここで constant capacitance model (Schindler&Stumm, 1987)を適用すると,

$$\log K_H^{app} = \log K_H^{int} + [-F^2 / (\kappa \epsilon \cdot RT \cdot \ln 10)] \{X\} \\ = \log K_H^{int} + \alpha_H \cdot f_H \quad \dots (1)$$

{X}: Xサイト濃度, $\kappa \epsilon$: 固有キャパシタンス
式(1)は, {X}の係数を α_H とし, {X}を $f_H = (1 - \beta_{HX})$ と近似 (β_{HX} は全X中のHXモル分率)している.

幌延泥岩へのモデル適用 Ion exchange isotherm

既往研究で報告されている幌延の地下水組成 (國丸ほか, 2007)を用いて, 洗い出し過程で生成する混合地下水の組成を計算し, 平衡関係にある交

Keywords: diagenesis, ion exchange reaction, surface complexation modelling, ion exchange isotherm

*Corresponding author: abe.takeyasu@jaea.go.jp

換性陽イオン組成を求めた. 計算には PHREEQC (Parkhurst&Appelo, 2013; 25 degC; phreeqc.dat; 活量補正は拡張 Debye-

Hückel 式)を使用した.

平衡定数は, ベンチマーク計算を目的として, 土壌を想定した文献値 (Table 1)とした.

幌延地下水の中で最

も低いイオン強度 (4×10^{-3})を示す 5pu14 による洗い出しに対応する交換性陽イオン組成の変化を Fig. 1a に示す. 今回の計算結果では, NaX の顕著な低下と, CaX2 の増加が見られた. これらの特徴は, ボーリングコアのバルク化学組成のうち, 浅部領域で認められる相対的な Na₂O/Al₂O₃ 低下, CaO/Al₂O₃ 上昇と定性的には対応関係にある (Fig. 1b, データは石井ほか, 2007). 今後, 交換性陽イオンとバルク組成を関連付けるモデルを作成して反応輸送解析を行い, イオン交換特性について定量的に議論する.

Table 1. Exchange parameters

<i>i</i>	log K_i^{int}	α_i
H ⁺	2.5	3.4
Na ⁺	-0.5	0.5
K ⁺	0.7	
Ca ²⁺	0.8	N/A ($\alpha_i \approx 0$)
Mg ²⁺	0.6	

^{*1}Appelo (1994), ^{*2}phreeqc.dat

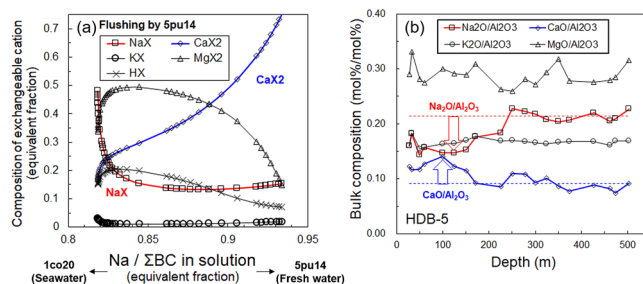


Figure 1. (a) Composition of exchangeable cation during freshening process of fossil seawater. BC: base cation (=Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺); 1co20: HDB-1, water extracted from boring core by squeezing (4~70 MPa), lot# = 20 (702 m); 5pu14: HDB-5, water obtained by pump systems, lot# = 1-4 (167 m) (b) Depth profile of bulk composition.

シリカ飽和熱水流体から生成した玉滴石様微小粒子

磯部博志* (熊本大院先端科学)・家田晶成 (熊本大理, 現八代市立第六中学校)

Hyalite-like spherules produced from silica-saturated hydrothermal fluid

Hiroshi ISOBE* (Fac. Adv. Sci. Tech., Kumamoto Univ.) and Shosei IEDA (Fac. Sci., Kumamoto Univ. pres. add. Yatsushiro 6th Junior High School)

Hyalite is a clear amorphous hydrous silica with spherical or conchoidal shape related to volcanic fluids. In this study, hydrothermal reaction of powdered andesite with silica-saturated fluid at 250°C produced clear spherules of pure SiO₂ with quite a similar shape and texture to natural hyalite.

はじめに 玉滴石 (hyalite) は、含水非晶質または低結晶質シリカ (広義のオパール) のうち、透明度が高く貝殻状または顆粒状の外観を示すものの呼称である。玉滴石は、火山性流体活動と関連して産出することが知られている。玉滴石の人工合成については、700°C以上に加熱した圧力容器内に 500°C以上の温度差を設定するとクリストバライトや石英と共に析出することが報告されている (Flörke et al., 1973, 1990)。本発表では、シリカガラス管に安山岩粉末とイオン交換水を封入した熱水反応実験において生成した玉滴石様シリカ粒子について報告する。

実験 外径 4mm, 内径 2mm, 高さ 100mm のシリカガラス管に、黄鉄鉱粉末約 50mg を底部約 10mm に、その上部に安山岩粉末約 200mg を高さ約 50mm となるよう入れた。室温で試料粉末の空隙を満たすよう、イオン交換水を約 40mg 加えた後、ガラス管上部約 10mm にシリカウールを詰め、上端を閉じて封入した。

試料を封入したシリカガラス管を圧力容器にイオン交換水と共に封入し、縦型炉で圧力容器底部を 250°Cに加熱し、8 週間保持した。圧力容器は上端で電気炉外の圧力計に接続しているため、上部の温度は実験温度より低い。このため、シリカガラス管内の流体にはなんらかの対流が存在していたと考えられる。ただし、温度分布の推定は困難である。実験後、回収した試料を光学顕微鏡、走査電子顕微鏡、X 線回折装置等で解析した。

結果及び考察 安山岩粉末は全体として出発物質より白色化しており、空隙が拡大していた。亀裂及び空洞部には、図 1 に示すように直径約

50µm の透明でガラス光沢を持つ球粒が多数存在していた。

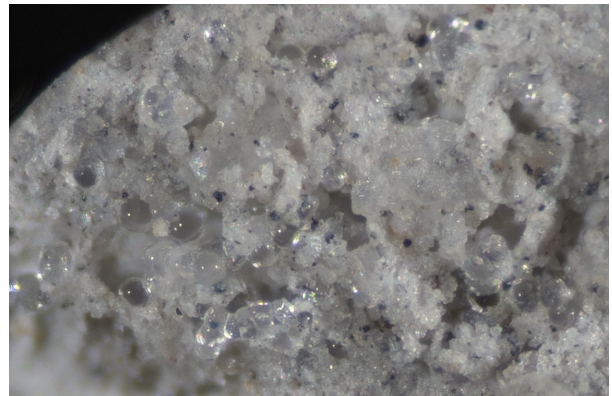


図 1 生成物の実体顕微鏡写真。横幅 1.0mm

走査電子顕微鏡観察 (図 2) では、これら粒子の組成はほぼ純粋な SiO₂であった。これら粒子の組織、組成は、天然の玉滴石に極めて近いと考えられる。本実験において、約 250°Cという比較的低温の熱水環境において玉滴石様のシリカ粒子が形成されることが示された。

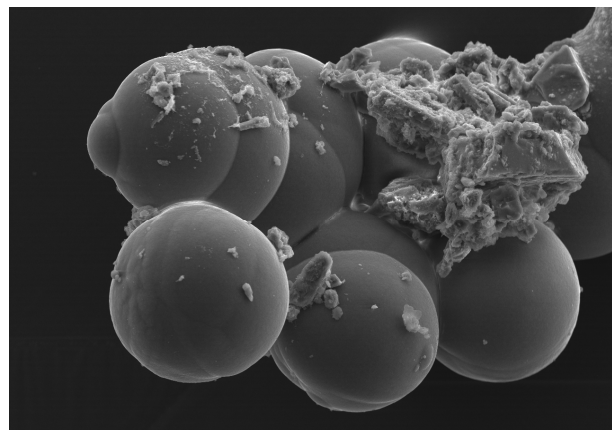


図 2 走査電子顕微鏡写真, 横幅 0.2mm

Keywords: hyalite, hydrothermal fluid, amorphous silica, andesite,

*Corresponding author: isobe_hrs@kumamoto-u.ac.jp

蛇紋岩化反応における鉄の分配、水素生成に対するシリカの影響

田中 修平* (東北大・院環境), 岡本 敦 (J 東北大・院環境), 吉田 一貴 (東北大・院環境), 丹羽 尉博 (物構研, 高エネ研), 木村 正雄 (物構研, 高エネ研), 宇野 正起 (東北大・院環境), 藤井 昌和 (極地研, 総研大)

Effects of silica on iron partitioning and H₂ generation during serpentinization

Shuhei Tanaka* (Tohoku univ. Env), Atsushi Okamoto (Tohoku univ. Env.), Kazuki Yoshida (Tohoku Univ. Env), Niwa Yasuhiro (IMSS, KEK), Masao Kimura (IMSS, KEK), Masaoki Uno (Tohoku univ. Env.), Masakazu Fujii (NIPR, The Graduate Univ. for Advanced Studies)

Serpentinization of mantle peridotite involves oxidation of Fe and H₂ production. Mantle peridotite commonly contains olivine (Ol) and orthopyroxene (Opx), and the reaction pathways and relative rates of serpentinization largely depend on temperature and local silica activity. However, the effects of silica on iron partitioning and H₂ production is still unclear. In this study, we conducted batch type of hydrothermal experiments in the systems of Ol-H₂O and Ol-Opx-H₂O at 200-400°C. In the Ol-Opx-H₂O system, Opx reacted selectively above 300°C, and little magnetite was produced. Despite the low magnetite production, the H₂ production rate was comparable to that of the Ol-H₂O system due to the incorporation of Fe³⁺ in serpentine, indicating that silica activity changed the mechanism of H₂ generation.

マントルかんらん岩の蛇紋岩化反応は、かんらん岩中の鉄と水の酸化還元反応及び水素生成を伴う。かんらん岩は主にかんらん石、直方輝石からなり、それぞれの反応経路、相対的な反応速度は温度やローカルなシリカ活量の影響を受けることが知られている^[1]。しかし、シリカが鉄の分配及び水素生成へ与える影響は明らかになっていない。本研究では、かんらん石(Ol)・H₂O系、Ol-直方輝石(Opx)・H₂O系に対して、温度を200-400°C、時間を24-360日まで系統的に変化させたバッチ式水熱反応実験を行った。また、鉄の分配を詳細に調べるため熱重量分析、化学組成分析、磁気測定、X線吸収分光分析を行った。

Ol-H₂O系では、既往の研究と同様に300°Cで蛇紋石の生成量が最大となり、磁鉄鉱は蛇紋石の生成量と比例して増加した。また、Fe³⁺も蛇紋石、磁鉄鉱の増加に伴って増加しており、磁鉄鉱がFe³⁺の主なホストであることが分かった(52-68%)。

よりシリカ活量の高いOl-Opx-H₂O系では、

300°C以上の高温では直方輝石が選択的に反応し、磁鉄鉱はほぼ生成されなかった。しかし、Fe³⁺/Fe_{total}=0.1であり、Fe³⁺のほぼすべては蛇紋石に含まれ、蛇紋石中の鉄の90%はFe³⁺であることが分かった。また、Ol-Opx-H₂O系における水素の生成速度はOl-H₂O系と同等であり、シリカによって水素発生の要因が磁鉄鉱(+蛇紋石)から蛇紋石に変わることが分かった。

シリカ活量が高い場合、熱力学的に磁鉄鉱は不安定になるため、Fe³⁺は蛇紋石に含まれるようになったと考えられる。本研究結果を海洋底の熱水変質系に適用して考えると、海嶺近傍ではダナイトを含む浅部で活発に水素が生成され、離れるにつれてより深部のレールズライトから水素が生成されることが考えられる。

参考文献

[1] Schwarzenbach et al., 2016, Contrib Mineral Petrol, 171:5

Oral presentation

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Tsuchiya Noriyoshi(Tohoku Univ.)

Sat. Sep 17, 2022 10:00 AM - 12:30 PM B351 (Adv. Edu. Res. Bldg. E-3F)

[Chairperson]

Noriyoshi Tsuchiya: S2-01 - S2-09

11:00 AM - 11:15 AM

[1Lecture-301-09-5add]Break time

高分解能 X 線 CT を用いた蛇紋石脈微細構造の解明

延寿里美 (愛媛大)、松野淳也 (立命館大)、安武正展 (SPring-8/JASRI)、松本恵 (東北大)、土山明 (立命館大、中国科学院广州地球化学研究所)、上杉健太郎 (SPring-8/JASRI)、竹内晃久 (SPring-8/JASRI)

Microtextures of serpentine veins by high resolution X-ray CT

Satomi Enju* (Ehime Univ.), Junya Matsuno (Ritsumeikan Univ.) Masahiro Yasutake (SPring-8/JASRI), Megumi Matsumoto (Tohoku Univ.), Akira Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem., CAS), Kentaro Uesugi (SPring-8/JASRI), Akihisa Takeuchi (SPring-8/JASRI)

【はじめに】

蛇紋岩は亀裂の形成と熱水の流入を繰り返しながら形成されるため、その亀裂の最終形態である蛇紋岩中の蛇紋石脈の形成過程を知ることは蛇紋岩の形成メカニズムを知るうえで重要である。蛇紋石脈は主にナノチューブ状 chrysotile 及び多角柱状の polygonal serpentine (PS)から構成される [1]。これらは太さが 20-500 nm ほどの微細結晶であるため透過電子顕微鏡(TEM)による観察が主流であるが、TEM 観察で用いる薄膜では二次元の情報しか取得できない。本研究では蛇紋石脈の形成過程を解明するため、高分解能 X 線 CT を用いた微細組織の三次元観察を行った。

【試料及び分析手法】

試料は熊本県泉町下岳の片状蛇紋岩中の蛇紋石脈である。本試料は肉眼的に二色の領域が混在しており、過去の TEM 観察から領域間で PS と chrysotile の量比や結晶の方位の配向性が異なることがわかっている。この岩石薄片から二色の領域の境界部分を FIB を用いて 25×25×30 μm ほどのハウス型試料を切り出し、CT 撮影実験を行った。

高分解能吸収 X 線 CT 実験は大型放射光施設 SPring-8 BL47XU にて行った。撮影に用いたエネルギーは 7.35 keV で投影数は 1800 枚であった。再構成画像に 2x2x2 のビニング処理を施したのち(画素サイズ: 27.6 nm)、試料中央部の亀裂が三次元画像の yz 面と並行となるように回転させてから、組織観察・解析を行った (図)。

【結果】

CT 像では比較的太い(直径数 100 nm) PS は多くの部分で個々の結晶の境界を観察できたが、最も細い(直径数 10 nm) 配向した chrysotile については亀裂沿いでは個別の結晶と思われる組織が見られたものの、一般的な産状である配向部では明瞭

Key words: serpentine, X-ray CT, chrysotile, polygonal serpentine

*Corresponding author: enju.satomi.vd@ehime-u.ac.jp

な境界はみられず配向の向きのみ確認できた。

繊維状蛇紋石の形態や配向から試料は三つの領域に分類できる; PS を多く含み yz 面内で比較的方位がランダムであり空隙の多い region 1、chrysotile を多く含みほぼ z 軸方向に配向している region 2、chrysotile からなり y 軸方向に強い配向を示す region 3。これら三領域は yz 面に平行に層状に広がり、両端はそれぞれ region 1 と region 2 (肉眼観察で二色に分かれていた領域に相当)、中央部は厚さ 800 nm ほどの薄い層状の region 3 にはさまれた region 1 と 2 の互層部からなっていた(図)。Region 3 のふちに沿って明瞭な亀裂がみられ、一部では発達前のマイクロクラックが観察された。層構造の見られる yz 面は露頭での蛇紋石脈と平行であり、結晶の形態や組織から晶出と亀裂の形成を繰り返しながら region 1, 2, 3 の順に形成されたことがわかった。注目したいのが region 3 及び現存する亀裂がいずれも空隙率や密度のギャップのあると思われる層境界部に発達している点である。空隙率や密度は形成される蛇紋石の結晶の形態や配向などによって決まるため、蛇紋岩中の亀裂の発達にはその前の変質過程で生じた微細組織が影響を与えている可能性が示唆された。

【引用】 [1] Baronnet, A. & Devouard, B. (2005) Canadian Mineralogist, 43, 513-542.

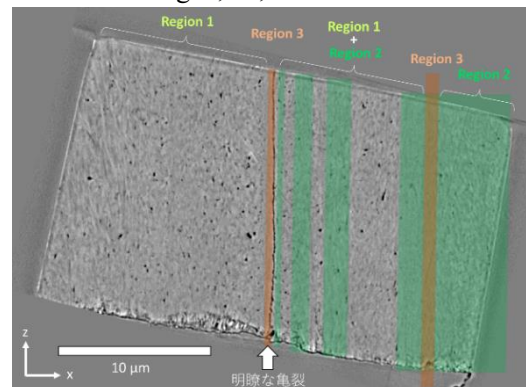


図 xz 断面における region 1, 2, 3 の共存関係

オマーンオフィオライト・ワジディマ蛇紋岩炭酸塩脈中の 流体包有物が記録する海洋底と大陸の変成流体

犬飼知宏^{1,*}, 川本竜彦¹, 大井修吾¹, Godard Marguerite²

(¹ 静岡大学理学部地球科学,² 地球科学, CNRS, モンペリエ 2 大学)

Oceanic and continental alteration fluids recorded in fluid inclusions of carbonate veins in Wadi Dima serpentinite, Oman ophiolite

Tomohiro Inukai^{1,*}, Tatsuhiko Kawamoto¹, Shugo Ohi¹, Marguerite Godard²

(¹ Dept Geosciences, Shizuoka Univ., ² Géosciences Montpellier, CNRS, Univ. Montpellier 2, France).

Aqueous fluid inclusions are found in carbonate veins in Wadi Dima serpentinite of Oman ophiolite. Type 1 calcite vein is formed in saline hydrothermal fluids under submarine circumstance, whereas Type 2 calcite/dolomite vein is formed in less saline hydrothermal fluids in continental circumstance.

オマーンオフィオライトのワジディマ地域の蛇紋岩には炭酸塩脈が発達している。Noël et al. (2018, *Lithos*) は、炭酸塩脈の岩石記載、微量成分元素組成と炭素と酸素の安定同位体比によって、炭酸塩脈を3タイプに分類した。そして、Type 1 炭酸塩は海洋底で 15-110°Cの、Type 2、Type 3 炭酸塩は大陸で 10-30°Cの熱水変質を受けたと提案した。

昨年の報告に引き続き、この多世代の炭酸塩脈中の流体包有物の組成と均質化温度を測定することによって、炭酸塩脈の形成環境に束縛条件を与える。

顕微ラマン分光分析を用いて、流体は水からなると同定した。Type 1 炭酸塩の流体包有物のホスト鉱物はすべてカルサイトであった。一方 Type 2 炭酸塩中の流体包有物はほとんどが大きなカルサイトに存在するが、一部微小なドロマイトにもみられた。また、Type 3 炭酸塩は微小なドロマイトで構成されるが、流体包有物はなかった。マイクロサーモメトリー法により、流体包有物の塩濃度と均質化温度を測定した。

塩濃度の結果(表 1)より、Type1 炭酸塩中の流体包有物は海水に近い流体であると考えられる。Type 1 炭酸塩中の流体包有物は 0-9 wt.% NaCl eq.の幅広い分布をとる。これは Kelley and Delaney (1987, *Earth Planet. Sci. Lett.*) で指摘されているように、モホ面まで海水が浸透し、それが水蒸気と濃い塩水に分離したためと考える。一方 Type 2 炭酸塩では 9 割

の流体包有物は 0-1 wt.% NaCl eq. を示すが、1 割の流体包有物は 3 wt.% NaCl eq. を超える高い塩濃度を示す。このような高塩濃度の流体包有物はドロマイトまたはドロマイトに近接するカルサイトに含まれている。この流体の起源は不明である。

均質化温度の結果(表 1)は Noël et al. (2018, *Lithos*) の結果よりも Type 1、Type 2 炭酸塩ともに約 100-200°C高い。彼らは炭酸塩脈の形成温度を算出する際、炭酸塩と共存した流体の同位体組成を Type 1 は海水、Type 2 と 3 は岩体周囲の湧水と仮定した。今回、彼らが報告した酸素同位体比のデータを用いて、カルサイトとドロマイトが平衡状態で結晶化したと仮定して分別温度を計算した。その結果、Type 1 炭酸塩は 166°C、Type 2 炭酸塩は 290°Cで形成されたと解釈できる。これらの炭酸塩脈は、Noël et al. (2018, *Lithos*) が提案したように海水温に近い温度で形成されたのではなく、より高温の熱水から形成されたと提案する。

	Salinity (wt.% NaCl eq.)	Homogenization temperature (°C)
Type 1 calcite	2.9±2.1	228±63
Type 2 calcite	0.9±1.5	206±77
Type 2 dolomite	1.8±1.8	203±17

表 1 マイクロサーモメトリーの結果

Keywords: carbonization, microthermometry, salinity, serpentine, oxygen isotope
*Corresponding author: inukai.tomohiro.18@shizuoka.ac.jp

キレート剤存在下での結晶構造によるケイ酸塩鉱物溶解への影響

王佳婕*, Astin Nurdiana, 土屋範芳 (東北大・環境)

Silicate minerals dissolution behaviours and reordered preference in the presence of a chelating agent

Jiajie Wang*, Astin Nurdiana, Noriyoshi Tsuchiya (GSES, Tohoku University)

The rates of mineral dissolution contribute to many geochemical processes and phenomena, such as geothermal exploration and CO₂ mineralization by reacting with leached Ca and Mg ions, the latter is one of the crucial ways to reduce atmospheric CO₂ concentration. Recently, the remarkable enhancement of mineral dissolution using chelating agents is increasingly reported. To clarify the issues that arise accordingly, i.e., the dissolution behaviours of various minerals in chelating agent solutions, basic dissolution experiments using 2 wt.% GLDA-Na₄ (*N,N*-Dicarboxymethyl glutamic acid tetrasodium salt) solution and seven minerals, i.e., olivine, epidote, tourmaline, enstatite, hornblende, biotite and anorthite, respectively belonging to seven major silicate groups, were conducted in this study, at the room temperature and pressure.

The rate of Si and Al being released from per unit area of mineral surface (e.g., mmol/m²min), which is often used to present the mineral dissolution rate, was generally higher in acid GLDA solutions (pH of 4) than in alkaline GLDA solutions (pH of 8), during 120 min reactions, due to the joint effect of proton and the chelator. Moreover, at pH 4, the rate of Al being released from minerals was higher than that of Si, whereas at pH 8, except for biotite, Si leaching was preferred. At both pH 4 and 8, among the 7 types of silicates, the extractions in Si+Al and in divalent cations (i.e., Ca, Mg, Fe, Mn) showed a similar sequence: phyllosilicate biotite dissolved the fastest, followed by olivine (nesosilicate), anorthite (tectosilicates), tourmaline (cyclosilicate), epidote (sorosilicate), enstatite (inosilicates: single-chain), hornblende (inosilicates: double-chain). Biotite, the dissolution rate has been reported to be slower than pyroxenes, showed a remarkable increase in the presence of GLDA, regardless of the solution pH. This kind of enhancement in biotite dissolution, as well as reordered mineral dissolution preference in chelating agent solution may potentially contribute to the application of chelating agents for rock dissolutions and elements extractions, and further studies will be focused on developing a better understanding of the relationship between minerals lattices and chelating agent attacks.

Keywords: Silicates, Minerals, Dissolution, Chelating agent

***Corresponding author:** wang.jiajie.e4@tohoku.ac.jp (J.W.)

鉱物溶解に及ぼす天然キレート剤の促進効果に関する基礎的検討

菊池星南*、王佳婕、土屋範芳(東北大・環境科学)

Fundamental study on enhancement of mineral dissolution by natural chelating agent

Sena Kikuchi*, Jiajie Wang, Noriyoshi Tsuchiya

(Environmental sci, Tohoku Univ.)

1. はじめに

大気中の CO₂ の増加による気候変動や海洋酸性化などの悪影響が懸念されており、その対策としてケイ酸塩鉱物の溶解とそれに続く CO₂ の鉱物化を行う CCUS が有望視されている。しかし、自然界ではケイ酸塩鉱物の溶解速度は非常に遅く、その結果、CO₂ を鉱物化する速度も遅くなってしまふ。鉱物の溶解を促進するために、私たちの研究室を含む研究者は、人工キレート剤(GLDA、HEDTA など)を用いて鉱物から2価の陽イオンの抽出を促進させることに成功している(Wang et al., 2021)。この成果を応用させ、より環境にやさしい CO₂ 貯蔵システムを開発するために、天然由来のキレート剤として普遍的に存在する植物代謝物に注目した。そこで本研究の目的は、ケイ酸塩鉱物の溶解において天然キレート剤の促進効果がもたらす可能性について検討することである。

2. 実験方法および結果

本研究では、粒径を 100 μm 以下に整えた玄武岩、かんらん石、珪灰石、蛇紋石の溶解挙動を、植物代謝物グリシン、D(-)-マンニトール、L-セリン、L-グルタミン酸、フミン酸を含む溶

液を用いて、室温(~20°C)、常圧で基礎溶解実験を行い、0、2、5、24、48、72、144 時間ごとに実験溶液を 1 mL サンプルングした。回収溶液は、pH 電極を用いて pH の測定を行い、また、10 倍希釈した後、ICP-OES(Agilent 5100)を用いて、各元素の濃度の分析を行った。例えば、かんらん石の場合、10 g/L のフミン酸を用いると、かんらん石から Si、Ca、Al、Na の抽出が促進され、144 時間において Milli-Q water を用いた場合と比べると、Si は 20.8 倍、Ca は 1.45 倍、Al は 2.33 倍、Na は 4.72 倍となった。同時に植物代謝物を含んだ溶液の pH はすべてケイ酸塩の溶解により部分的に上昇し、例えば、かんらん石にフミン酸を用いた場合、5.21 から 6.75 に変化した。このような pH の上昇は、海洋系でのケイ酸塩鉱物の溶解を考察する上で非常に重要であると考えている。

3. 展望

本研究は、植物代謝物を含む天然水系にケイ酸塩鉱物を溶解することで、pH 上昇と CO₂ の鉱物化による海洋酸性化の抑制と CO₂ の隔離が期待できるだろう。

Reference:

Wang, J., Watanabe, N., Kamitakahara, M., Nakamura, K., Komai, T., Tsuchiya, N., Enhancement of aragonite mineralization with a chelating agent for CO₂ storage and utilization at low to moderate temperatures. *Scientific reports*, 13956

Keywords: Chelator, Mineral dissolution, Plant metabolite, Silicates

*Corresponding author: sena.kikuchi.q8@dc.tohoku.ac.jp

高圧 CO₂ 条件下における炭酸マグネシウム鉱物の形成

西木悠人(北大・工, 産総研), 徂徠正夫(産総研), 佐藤努(北大・工)

Formation of magnesium carbonate minerals under high pressure CO₂ conditions

Yuto Nishiki* (Eng., Hokkaido Univ. & AIST), Masao Sorai (AIST), Tsutomu Sato (Eng., Hokkaido Univ.)

近年の玄武岩層への CO₂ 圧入試験 (アイスランド CarbFix プロジェクト^[1]や米国 Wallula 玄武岩プロジェクト^[2]) では数年で炭酸塩鉱物の沈殿が顕著に確認されており, CO₂ の鉱物固定への期待が高まっている。苦鉄質岩や超苦鉄質岩へ貯留する際には, Ca のみならず Mg や Fe が岩石中に多く含まれるため, 炭酸カルシウムに加え, 炭酸マグネシウムや炭酸鉄の沈殿予測が必要となる。そこではじめに, 本報告では CO₂ 地中貯留条件における炭酸マグネシウムの生成相に関して議論する。

常温付近において, 炭酸カルシウムは Calcite (CaCO₃) などで容易に沈殿する一方, 炭酸マグネシウムの Magnesite (MgCO₃) は速度論的抑制のために容易に沈殿されないと考えられる場合が多い^[3]。代わりに, 常温付近では含水炭酸マグネシウム鉱物が観察されており, Yamamoto et al.^[4] は MgCl₂(aq) と Na₂CO₃(aq) を用いた合成実験から, 20°C では Nesquehonite (MgCO₃·3H₂O), 60°C では Dypingite (Mg₅(CO₃)₄(OH)₂·5H₂O), 80°C では Hydromagnesite (Mg₅(CO₃)₄(OH)₂·4H₂O) の形成を確認している。しかしながら, CO₂ 地中貯留では, 圧入流体が炭酸水である場合^[1]に加え, 超臨界 CO₂ である場合^[2]も想定されるため, 超臨界 CO₂ 存在下での炭酸マグネシウムの生成相が Yamamoto et al.^[4] の実験結果に一致するかは不明である。

そこで本研究では, 高圧 CO₂ 条件下での炭酸マグネシウム鉱物の生成に関する実験を実施した。Mg(OH)₂ 試薬 (関東化学) 3 g と超純水 30 mL を入れた反応容器に, CO₂ を 10 MPa (≈ CO₂ 地中貯留の圧力条件) で充填した。温度は 40, 60, 80°C とした。3 日後に吸引ろ過を行い, 反応温度と同

一な温度で 1 日乾燥させて固体試料を得た。

すべての条件において, Mg(OH)₂ が 3 g すべて溶解され, マグネシウム炭酸塩の形成を確認した。その鉱物種は, 粉末 X 線回折 (XRD) 分析より 40°C では Nesquehonite, 60°C では Nesquehonite と Magnesite, 80°C では Hydromagnesite と Magnesite と同定された。これは Yamamoto et al.^[4] の実験とは異なり, マグネシウム炭酸塩の鉱物種を決定する要因として, 温度に加え CO₂ 分圧などの別の因子も関与している可能性が考えられる。また, 熱重量分析 (TGA) からは, XRD と整合的な結果を得ることができた。60°C および 80°C の実験で確認できた Magnesite が脱 CO₂ によって MgO に変化した温度 (それぞれ 525°C, 555°C) は, 一般的な Magnesite の場合 (~650°C) と比べると低温であったため, 本研究で確認された Magnesite は通常よりも弱い結合力を持つことが示唆された。

本研究の成果は CO₂ 地中貯留におけるマグネシウム炭酸塩の鉱物種を予測する上で重要な手掛かりとなると考えられる。なお, Nesquehonite は常温常圧下で時間とともに別の相 (Dypingite 等) へ変化することが報告されている^[5]ため, 今後は本研究においても, 含水炭酸マグネシウム鉱物の相変化挙動についても深く議論していき, それと CO₂ 分圧との関係性を明らかにする必要がある。

[1] Matter et al. (2016) *Science*, 352, 1312–1314.

[2] McGrail et al. (2017) *Energy Procedia*, 114, 5783–5790.

[3] Snæbjörnsdóttir et al. (2020) *Nat. Rev. Earth. Environ.*, 1, 90–102.

[4] Yamamoto et al. (2021) *Sci. Rep.*, 11, 1–8.

[5] Tanaka et al. (2019) *J. Mineral. Petrol. Sci.*, 114, 105–109.

Keywords: Geological CO₂ storage, Hydromagnesite, Magnesite, Nesquehonite, Supercritical CO₂

*Corresponding author: yuto-nishiki@frontier.hokudai.ac.jp

Oral presentation

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Tsuchiya Noriyoshi(Tohoku Univ.)

Sat. Sep 17, 2022 10:00 AM - 12:30 PM B351 (Adv. Edu. Res. Bldg. E-3F)

[Chairperson]

Noriyoshi Tsuchiya: S2-01 - S2-09

12:30 PM - 12:35 PM

[1Lecture-301-09-11add]Session convener greeting