

Fri. Sep 20, 2019

Oral presentation | R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

9:15 AM - 12:00 PM JST | 12:15 AM - 3:00 AM UTC | Lecture la Lecture

R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

Chairperson: Makoto Tokuda, Atsushi Kyono, Yurie Nakamura

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[R2-01] CL analysis for the gravitational influence on crystal habit of quartz.

 *Momoko Yoshimi¹, Toshiro Nagase², Takahiro Kuribayashi¹, Hiroyuki Imai³, Toshiro Okada⁴ (1. Tohoku Univ., sci., 2. Tohoku Univ., museum, 3. Kinseki Zoukei Studio, 4. Wajirogaoka junior high school)

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

[R2-02] Raman spectroscopic study of tridymite modifications

 *Masami Kanzaki¹ (1. IPM, Okayama U.)

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

 [R2-03] Growth of Quartz, Tridymite and Cristobalite in a CaO-MgO-Li₂O-V₂O₅ Flux System

 *Toshiya Abe¹ (1. Yamaguchi Univ. Sci.)

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

[R2-04] How do silicon atoms diffuse in silicate liquids?

 *Fumiya Noritake¹ (1. Univ. Yamanashi)

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

[R2-05] Effect of the Ionic Radius of Monovalent Ions on Octacalcium Phosphate Formation

 *Yuki Sugiura¹, Yasuko Saito², Takashi Endo², Yoji Makita¹ (1. AIST HRI, 2. AIST RISC)

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

[R2-06] Variation of iron species in plagioclase crystals by X-ray absorption fine structure analysis

 *Nakada Ryoichi¹, Masahiko Sato², Masashi Ushioda³, Yujiro Tamura⁴, Shinji Yamamoto⁴ (1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo, 3. AIST, 4. Yokohama National Univ.)

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

 [R2-07] Fundametal study of charge transfer and magnetic structure transfer of Mn_{3-x}Fe_xO₄ as a function of pressure.

 *Takamitsu Yamanaka¹, Takanori Hattori², Kazuki Komatsu³, Yuki Nakamoto⁴, Saqib Rahman¹, Lin Wang¹, Ho-kwang Mao¹, Naohisa Hirao⁵ (1. HPSTAR, 2. Japan Photon Accelerator Complex Material and Life Experimental Facility (MLF), 3. Geochemical Research Center University of Tokyo, 4. KYOKUGEN Center for Science and Technology under extreme Condition, 5. R IKEN JASRI SPring-8)

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

 [R2-08] **Single-crystal synchrotron X-ray diffraction study on a new Al₂Si₂O₇ phase synthesized at the condition of 15.5 GPa and 2473 K**

 *Takahiro Kuribayashi¹, Youmo Zhou², Hiroaki Ohfuji², Tetsuo Irifune^{2,3} (1. Tohoku Univ., 2. Ehime Univ. GRC, 3. Inst. Tech. Tokyo. ELS)

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

 [R2-09] Synthesis of polycrystalline In₂O₃ and oxygen defect chemistry

 *Isao Sakaguchi¹, Noriko Saito¹, Taku Suzuki¹ (1. NIMS)

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

[R2-10] Toward ultrahigh-pressure synthesis of transparent nano-polycrystalline jadeite

 *Tetsuo Irifune¹, Keisuke Mitsu¹, Akihiro Yamada² (1. Ehime Univ., GRC, 2. Univ. Shiga Pref. Univ., School of Eng.)

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

[R2-11] A unique arsenic crystalline phase with an ordered arrangement of low- and high-pressure structure parts

*Akira Yoshiasa¹, Makoto Tokuda², Masaaki Misawa³ (1. Kumamoto University, 2. Tohoku University, 3. Kyushu Sangyo University)

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

9:15 AM - 12:00 PM JST | 12:15 AM - 3:00 AM UTC | Lecture Ib Lecture

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Tomoki Nakamura, Yusuke Seto

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[R5-01] Mineralogical investigation of enstatite whiskers in Paris primitive CM chondrite by using SR-nanoXCT and TEM

*Masahiro Yasutake¹, Epifanio Vacarro², Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³, Tsukasa Nakano⁴, Akira Tsuchiyama^{1,5}
(1. Ritsumeikan University, 2. Natural History Museum, London, 3. SPring-8, 4. GSJ/AIST, 5. GIG/CAS)

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

[R5-02] Micro textures of TCIs in CM carbonaceous chondrites

「発表賞エントリー」

*Akane Iemoto Iemoto¹, Yusuke Seto¹, Akira Miyake² (1. Kobe Univ., Sci., 2. Kyoto Univ., Sci.)

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

[R5-03] Reinvestigation of CM-CO clan classification

*Makoto Kimura¹ (1. National Institute of Polar Research)

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

[R5-04] Dolomite in the Ivuna meteorite (CI) and search for its fluid inclusions

*Akira Tsuchiyama¹, Momoko Hashino², Akira Kitayama², Akira Miyake² (1. Ritsumeikan Univ./GIG, 2. Kyoto Univ., Sci.)

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

[R5-05] Mineralogical study of NWA 7317 and Tafassasset: Two “equilibrated” meteorites related to CR chondrites

「発表賞エントリー」

*Abe Daiki¹, Takashi Mikouchi² (1. Tokyo Univ., Sci., 2. Tokyo Univ., Univ. Museum)

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

[R5-06] Mineralogical and petrological study of a dark inclusion in the NWA 1723 L chondrite

*Miki Takahashi¹, Tomoki Nakamura¹, Michael Zolensky² (1. Tohoku Uni. Sci., 2. NASA/JSC)

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

[R5-07] Nano-order chemical state analysis for H₂⁺-irradiated corundum simulating space weathering*Yohei Igami¹, Shunsuke Muto¹, Masahiro Ohtsuka², Yuta Yamamoto¹, Aki Takigawa³, Akira Miyake³ (1. Nagoya Univ., IMASS, 2. Nagoya Univ., Eng., 3. Kyoto Univ., Sci.)

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

[R5-08] He irradiation experiments of hydrous carbonaceous chondrites to simulate space weathering of C-type asteroids

*Tomoki Nakamura¹, Cateline Lantz², Shiho Kobayashi¹, Nakauchi Yusuke³, Amano Kana¹, Rosario Brurnetto², Megumi Matsumoto¹, Miki Takahashi¹, Moe Matsuoka³, Takaaki Noguchi⁴, Toru Matsumoto¹, Akira Miyake⁵, Akira Tsuchiyama⁶, Mike Zolensky⁷ (1. Tohoku Univ., 2. IAS, Univ of Paris Sud, 3. ISAS/JAXA, 4. Kyushu Univ., 5. Kyoto Univ., 6. Ritsumeikan Univ., 7. NASA/JSC)

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

[R5-09] In-situ hydrothermal alteration experiments using GEMS analog particles

*Satomi Enju¹, Akira Tsuchiyama^{1,2} (1. Ritsumeikan Univ., 2. Guangzhou Inst. Geochem., CAS)

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

[R5-10] Strain analyses for the L6 ordinary chondrites by the X-ray diffraction method

*Naoya Imae¹ (1. NIPR)

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

[R5-11] Shock history of Northwest Africa 2139 LL6 chondrite

*Atsushi Takenouchi¹, Hirochika Sumino², Karin Shimodate², Keisuke Nagao², Akira Yamaguchi^{1,3} (1. NIPR, 2. The Univ. of Tokyo, 3. SOKENDAI)

Oral presentation | S1: Earth materials science in igneous processes (Special Session)

10:00 AM - 12:00 PM JST | 1:00 AM - 3:00 AM UTC | A-117 East zone 1

S1: Earth materials science in igneous processes (Special Session)

Chairperson: keiko Matsumo, Mayumi Mujin, Morihisa Hamada

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

[S1-01] Reconstruction of lithosphere-asthenosphere boundary in arc settings by geobarometry of spinel peridotites from Ichinomegata, NE Japan

「発表賞エントリー」

*Yuto Sato¹, Kazuhito Ozawa¹ (1. Univ. Tokyo Sci.)

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

[S1-02] Native iron formation during mantle metasomatism recorded in a mantle xenolith from Aitutaki island, Cook islands

*Norikatsu Akizawa¹, Kazuhito Ozawa², Wallis Richard Simon², Akihiro Tamura³, Tatsuhiko Kawamoto⁴, Atsushi Yasumoto⁵, Chihiro Ohshima¹, Akira Ishikawa⁶, Tetsu Kogiso⁷ (1. AORI, The Univ. Tokyo, 2. Dept. Earth and Planetary Sci., The Univ. Tokyo, 3. Dept. Earth Sci., Kanazawa Univ., 4. Dept. Geoscience, Shizuoka Univ., 5. Hiruzen, 6. Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech., 7. Grad. Sch. Hum. and Environ. Stud., Kyoto Univ.)

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

[S1-03] Estimating timescales of chemical diffusion in melts utilizing a holocrystalline composite dike

「発表賞エントリー」

*Ayu Yamazaki¹, Tetsuo Kawakami¹, Fumiko Higashino² (1. Kyoto Uni. Sci., 2. Okayama Uni. Science)

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

[S1-04] Analysis of volatiles in melt inclusions of the Myoko Sekiyama (43 ka) and Kannoki (41 ka) eruptions

*Morihisa Hamada¹, Estelle F. Rose-Koga², Kenneth T. Koga², Takayuki Ushikubo¹, Kenji Shimizu¹, Hideo Harada³, Yoshiaki Yamaguchi³ (1. JAMSTEC, 2. Laboratoire Magmas et Volcans, 3. Shinshu University)

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

[S1-05] Melt inclusions in a gabbro xenolith of the Izu-Oshima 1986 eruption

*Hidemi Ishibashi¹, Oida Ryoya¹, Atsushi Yasuda², Natsumi Hokanishi², Tatsuro Chiba³ (1. Shizuoka Univ., Sci, 2. Univ. Tokyo, ERI, 3. Asia Air Survey)

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

[S1-06] The color of volcanic glass: A case study of ash from the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan

*Keiko Matsumoto¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

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

[S1-07] Groundmass crystallization experiments of an andesitic pumice under low vapor pressure

「発表賞エントリー」

*Hiroki Yasukawa¹, Mayumi Mujin¹, Michihiko Nakamura¹, Shizuka Otsuki² (1. Tohoku Uni. Sci., 2. Nittetu Technology)

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

[S1-08] TEM observation of microtexture of the groundmass pyroxene crystals in the ejecta of the Shinmoedake 2011 eruption

「発表賞エントリー」

*Shota Okumura¹, Akira Miyake¹ (1. Kyoto Uni. Sci)

Oral presentation | R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

2:00 PM - 3:30 PM JST | 5:00 AM - 6:30 AM UTC | Lecture 1a Lecture

R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

Chairperson: Fumiya Noritake, Takahiro Kuribayashi

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

[R2-12] *In-situ* observation on the superstructure of a high-pressure phase of hemimorphite

「発表賞エントリー」

*Keitaro Okamoto¹, Takahiro Kuribayashi¹, Toshiro Nagase² (1. Tohoku Univ. Sci., 2. Tohoku Univ. Mus.)

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

[R2-13] Crystal chemistry of loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O₃: on the average and local structures

「発表賞エントリー」

*Ginga Kitahara¹, Akira Yoshiasa¹, Tsubasa Tobase², Makoto Tokuda³, Kazumasa Sugiyama³ (1. Kumamoto Univ., 2. HPSTAR, 3. Tohoku Univ.)

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

[R2-14] Crystal structure change in the grossular-Si-free katoite solid solution: oxygen position splitting in katoite

*Atsushi Kyono¹, Shubhi Arora¹ (1. Univ. of Tsukuba, Life & Environmental Sci.)

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

[R2-15] Thermally treatment on metamict minerals: case of fergusonite

*Makoto Tokuda¹, Akira Yoshiasa², Seiichiro Uehara³, Ritsuro Miyawaki⁴, Koichi Momma⁴, Kazumasa Sugiyama¹ (1. Tohoku Univ. IMR, 2. Kumamoto Univ., Sci., 3. Kyusyu Univ., Sci., 4. Nat'l. Mus. Nat. Sci.)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[R2-16] Extra-framework sites of labuntsovite-Mn from Aris Quarries, Aris, Windhoek, Khomas, Namibia

*Yurie Nakamura¹, Kazumasa Sugiyama¹, Toshiro Nagase² (1. Tohoku Univ. IMR, 2. Tohoku Univ. Museum)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[R2-17] High-temperature single-crystal X-ray diffraction study of chabazite: a crystallographic study on dehydration behavior

*Naomi Kawata¹, Keiko Fujiwara¹, Akihiko Nakatsuka¹ (1. Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.)

Oral presentation R5: Extraterrestrial materials
--

2:00 PM - 4:30 PM JST | 5:00 AM - 7:30 AM UTC | Lecture 1b Lecture

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Shogo Tachibana, Megumi Matsumoto

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

[R5-12] Low-temperature thermal history of cumulate eucrites as inferred from tridymite polymorphs

*Haruka Ono¹, Atsushi Takenouchi², Takashi Mikouchi³, Akira Yamaguchi² (1. Tokyo Uni. Sci., 2. NIPR, 3. Tokyo Uni. Mus.)

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

[R5-13] Petrogenesis of silica polymorphs in eucrites

「発表賞エントリー」

*Rei Kanemaru¹, Akira Yamaguchi^{1,2}, Naoya Imae^{1,2}, Hirotsugu Nishido³ (1. SOKENDAI, 2. NIPR, 3. OUS)

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

[R5-14] The complex shock metamorphism history recorded in the Padvarninkai

*Masaaki Miyahara¹, Akira Yamaguchi², Eiji Ohtani³ (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. NIPR, 3. Tohoku Uni. Sci.)

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

[R5-15] Heating experiments of maskelynite in Zagami and EETA 79001 Martian meteorites: Implication for their shock metamorphism

*Risa Shikina¹ (1. Tokyo Uni. Sci.)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[R5-16] Microstructural observations of quartz from the basement rocks of the Chicxulub impact structure and shock pressure estimation

Riho Tani^{2,1}, *Naotaka Tomioka¹, Masahiro Kayama³, Chang Yu³, Hirotsugu Nishido⁴, Kaushik Das², Auriol Rae^{5,6}, Ludovic Ferrière⁷, Sean Gulick⁸, Joanna Morgan⁵, IODP-ICDP Expedition 364 Scientists (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Hiroshima University, 3. University of Tokyo, 4. Okayama University of Science, 5. Imperial College London, 6. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 7. Natural History Museum Vienna, 8. University of Texas at Austin)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[R5-17] Laser-shock compression experiments of forsterite coupled with XFEL diffraction

*Takuo Okuchi¹, Narangoo Purevjav¹, Norimasa Ozaki², Yusuke Seto³, Toshinori Yabuuchi⁴ (1. Okayama Univ., 2. Osaka Univ., 3. Kobe Univ., 4. JASRI)

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

[R5-18] Inclusions within olivine in Esquel pallasite

*Terumi Ejima¹, Azumi Yoneyama¹, Masahide Akasaka², Yoshiaki Kon³, Takafumi Hirata⁴ (1. Shinshu Univ., 2. Shimane Univ., 3. AIST, 4. Univ. Tokyo)

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

[R5-19] Crystallization history of unusual petrological textures in the NWA 7203 angrite

「発表賞エントリー」

*Hideyuki Hayashi¹, Takashi Mikouchi², Martin Bizzarro³ (1. EPS, U. Tokyo, 2. UM, U. Tokyo, 3. U. Copenhagen)

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

[R5-20] Reproduction of oxygen fugacity of upper atmosphere based on artificial micrometeorites

*Hiroshi ISOBE Isobe¹ (1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University)

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

[R5-21] **Quenched indicator of carbon-bearing process: Extraterrestrial case**

*Yasunori Miura¹ (1. Post-Yamaguchi Uni.Sci., Uni. of Toronto)

Oral presentation R8: Metamorphic rocks and tectonics

2:00 PM - 4:30 PM JST 5:00 AM - 7:30 AM UTC A-117 East zone 1

R8: Metamorphic rocks and tectonics
--

Chairperson: Yusuke Endo, Yoshihiro Nkamura

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

[R8-01] Zircon–monazite–garnet behaviours during high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam

*Vuong Thi Sinh Bui¹, Yasuhito Osanai², Nobuhiko Nakano², Tatsuro Adachi², Ippei Kitano², Masaaki Owada³ (1. ISGS, Kyushu Univ., 2. SCS, Kyushu Univ., 3. Sci, Yamaguchi Univ.)

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

[R8-02] LA-ICP-MS zircon U-Pb ages from Oshima metamorphic rocks and their tectonic background

*Yasuhito Osanai¹, Ippei Kitano¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Sinh Vuong Bui¹, Masayuki Komatsu² (1. Kyushu Univ., SCS., 2. Ehime Univ., Sci.)

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

[R8-03] Excess Argon behavior in Dora Maira

*Tetsumaru Itaya¹, Hironobu Hyodo², Takeshi Imayama² (1. HIGC, 2. IFST, Okayama Univ. of Sci.)

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

[R8-04] **Electron back-scattered diffraction data of the Himalayan HP and UHP eclogites***Hafiz Ur REHMAN¹ (1. Kagoshima University)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[R8-05] Sadanagaite in SiO₂ phase-bearing Sulu UHP eclogites*Masaki ENAMI¹, Yui KOUKETSU², Katsuyoshi MICHIBAYASHI², Tomoki TAGUCHI³ (1. Nagoya Uni., 2. Nagoya Uni. Envi., 3. Kyoto Uni.)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[R8-06] Temperature reconstructions of rocks deformed at shallow crustal depths: implications of calcite thermometry from MBT and NT rocks of Himachal Himalayas

*Dyuti Prakash Sarkar¹, Jun-ichi Ando¹, Akihiro Kano³, Hirokazu Kato³, Gautam Ghosh², Kaushik Das¹ (1. Hiroshima Univ., 2. Presidency Univ., 3. Tokyo Univ.)

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

[R8-07] U-Pb zircon geochronology of pre- to post-tectonic granite emplacement across the South Delhi Fold belt, India: Implication towards the age of transpressive orogeny

*Kaushik Das¹, Kalyanbrata Hatui², Anupam Chattopadhyay², Hikaru Sato¹ (1. Hiroshima University, Science, 2. University of Delhi)

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

[R8-08] Blueschist facies impure metachert as remarkable oxygen- and overlooked water-carriers in the subduction zone

*Wataru J YABUTA¹, Takao HIRAJIMA¹ (1. Grad. Sci., Kyoto Univ.)

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

[R8-09] Significance of talc-calcite vein from the Yaeyama metamorphic rocks

*Masahiro Yoshikawa¹, Kenji Asakura¹, Takao Hirajima¹ (1. Kyoto Uni.)

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

[R8-10] **Metamorphism and geochronology of epidote blueschists and eclogitic rocks from the Gotsu area, SW Japan***Akira Takasu¹, Fazle Md Kabir², Shunsuke Endo¹, Weimin Li³ (1. Shimane Univ., 2. Fujii Consulting & Associates, 3. Jiling Univ. Chaina)

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

3:30 PM - 5:00 PM JST | 6:30 AM - 8:00 AM UTC | Lecture Ia Lecture

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Tsuchiya Noriyoshi, Tetsuo Kawakami

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

[S2-01] Permeability of the Earth's Crust and Amount of Geofluids

*NORIYOSHI TSUCHIYA¹, Masaoki Uno¹, Fajah Febiani Amanda¹, Diana Mandaleva¹, Fumiko Higashino² (1. Tohoku Univ., 2. Okayama Univ. of Sci.)

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

[S2-02] Effect of microstructural evolution on permeability in polycrystalline aggregates

「発表賞エントリー」

*Wakana Fujita¹, Michihiko Nakamura¹, Gregor Golabek², Marcel Thielmann², Philipp Eichheimer², Kentaro Uesugi³ (1. Tohoku Uni. Sci, 2. Univ. Bayreuth, 3. JASRI)

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

[S2-03] Relationship between the physical properties and hydration of the oceanic lower crust/ Moho TZ: results from onboard measurements of ICDP Oman Drilling Project (ChikyuOman)

*Natsue Abe¹, Keishi Okazaki², Ikuo Katayama³, Kohei Hatakeyama³, Yuya Akamatsu³, Science Party ICDP OmanDP (1. Mantle Drilling Promotion Office (MDP), MarE3, JAMSTEC, 2. KCC, X-star, JAMSTEC, 3. Hiroshima University)

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

[S2-04] Oxygen isotope speedometry in garnet recording fluid-rock interaction during high-temperature metamorphism

*Fumiko Higashino^{1,2}, Daniela Rubatto^{2,3}, Tetsuo Kawakami⁴, Anne-Sophie Bouvier³, Lukas P Baumgartner³ (1. OUS, 2. UNIBE, 3. UNIL, 4. Kyoto Uni.)

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

[S2-05] Reaction-induced fracturing and permeability development in MgO-H₂O system

「発表賞エントリー」

*Hisamu Kasahara¹, Masaoki Uno¹, Atsushi Okamoto¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Uni. Environmental Studies)

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

[S2-06] Alteration processes associated with selective leaching of elements in basalt-seawater system revealed by supercritical hydrothermal flow through experiment

「発表賞エントリー」

*Yusuke Netsu¹, Atsushi Okamoto¹, Nobuo Hirano¹, Masaoki Uno¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Uni., Env.)

Oral presentation | R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

📅 Fri. Sep 20, 2019 9:15 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:15 AM - 3:00 AM UTC | 🏛️ Lecture 1a
Lecture

R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

Chairperson: Makoto Tokuda, Atsushi Kyono, Yurie Nakamura

[座長]

徳田 誠: R2-01~R2-04

興野 純: R2-05~R2-08

中村 友梨江: R2-09~R2-11

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[R2-01] CL analysis for the gravitational influence on crystal habit of quartz.

*Momoko Yoshimi¹, Toshiro Nagase², Takahiro Kuribayashi¹, Hiroyuki Imai³, Toshiro Okada⁴ (1. Tohoku Univ., sci., 2. Tohoku Univ., museum, 3. Kinseki Zoukei Studio, 4. Wajirogaoka junior high school)

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

[R2-02] Raman spectroscopic study of tridymite modifications

*Masami Kanzaki¹ (1. IPM, Okayama U.)

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

[R2-03] Growth of Quartz, Tridymite and Cristobalite in a CaO-MgO-Li₂O-V₂O₅ Flux System

*Toshiya Abe¹ (1. Yamaguchi Univ. Sci.)

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

[R2-04] How do silicon atoms diffuse in silicate liquids?

*Fumiya Noritake¹ (1. Univ. Yamanashi)

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

[R2-05] Effect of the Ionic Radius of Monovalent Ions on Octacalcium Phosphate Formation

*Yuki Sugiura¹, Yasuko Saito², Takashi Endo², Yoji Makita¹ (1. AIST HRI, 2. AIST RISC)

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

[R2-06] Variation of iron species in plagioclase crystals by X-ray absorption fine structure analysis

*Nakada Ryoichi¹, Masahiko Sato², Masashi Ushioda³, Yujiro Tamura⁴, Shinji Yamamoto⁴ (1. JAMSTEC, 2. Univ. of Tokyo, 3. AIST, 4. Yokohama National Univ.)

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

[R2-07] Fundamental study of charge transfer and magnetic structure transfer of Mn_{3-x}Fe_xO₄ as a function of pressure.

*Takamitsu Yamanaka¹, Takanori Hattori², Kazuki Komatsu³, Yuki Nakamoto⁴, Saqib Rahman¹, Lin Wang¹, Ho-kwang Mao¹, Naohisa Hirao⁵ (1. HPSTAR, 2. Japan Photon Accelerator Complex Material and Life Experimental Facility (MLF), 3. Geochemical Research Center University of Tokyo, 4. KYOKUGEN Center for Science and Technology under extreme Condition, 5. RIKEN JASRI SPring-8)

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

[R2-08] **Single-crystal synchrotron X-ray diffraction study on a new Al₂Si₂O₇ phase synthesized at the condition of 15.5 GPa and 2473 K**

*Takahiro Kuribayashi¹, Youmo Zhou², Hiroaki Ohfuji², Tetsuo Irifune^{2,3} (1. Tohoku Univ., 2. Ehime Univ. GRC, 3. Inst. Tech. Tokyo. ELS)

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

[R2-09] Synthesis of polycrystalline In_2O_3 and oxygen defect chemistry

*Isao Sakaguchi¹, Noriko Saito¹, Taku Suzuki¹ (1. NIMS)

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

[R2-10] Toward ultrahigh-pressure synthesis of transparent nano-polycrystalline jadeite

*Tetsuo Irifune¹, Keisuke Mitsu¹, Akihiro Yamada² (1. Ehime Univ., GRC, 2. Univ. Shiga Pref. Univ., School of Eng.)

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

[R2-11] A unique arsenic crystalline phase with an ordered arrangement of low- and high-pressure structure parts

*Akira Yoshiasa¹, Makoto Tokuda², Masaaki Misawa³ (1. Kumamoto University, 2. Tohoku University, 3. Kyushu Sangyo University)

CL 法を用いた水晶の晶癖に対する重力効果の検討

吉見桃子* (東北大・院理), 長瀬敏郎 (東北大・総学博), 栗林貴弘 (東北大・院理),
今井裕之 (金石造形スタジオ), 岡田敏朗 (福岡市立和白丘中学校)

CL analysis for the gravitational influence on crystal habit of quartz.

Momoko Yoshimi* (Tohoku Univ.), Toshiro Nagase (Tohoku Univ.), Takahiro Kuribayashi (Tohoku Univ.),
Hiroyuki Imai (Kinseki Zoukei Studio), Toshiro Okada (Wajirogaoka junior high school)

はじめに 水晶の形態に現れる主な面は、菱面体面 $r\{10\bar{1}1\}$ 及び $z\{01\bar{1}1\}$ と柱面 $m\{10\bar{1}0\}$ であり、しばしば $x\{51\bar{6}1\}$ や $s\{11\bar{2}1\}$ も現れる。天然では菱面体面の発達の度合いが異なる形態が観察され、この一因として重力の影響が考えられている (Laemmlein, 1941)。水晶が壁面から水平方向に成長した場合、下側にある菱面体面は上側よりも大きく発達する。また x 面と s 面は下側で発達しやすい。上側の菱面体面が下側よりも速く成長するためにこのような形になると考えられているが、天然において、水晶が重力の影響をどのように受けて成長したか、その履歴を詳しく観察した研究例はない。本研究では、岩手県玉山鉱山などの水晶について、カソードルミネッセンス (CL) 法による内部組織観察を行い、水晶の成長履歴と重力が晶癖に及ぼす影響を調べた。

実験 内部組織観察は走査型電子顕微鏡 (JEOL 社製 JSM-6510) に付随した CL 装置 (GATAN 社製 Mini-CL) を用いて行った。試料には深成岩に伴う石英脈である岩手県玉山鉱山と宮崎県板谷の水晶を用いた。菱面体面の晶癖が強く現れているものを選び、 c 軸に平行に、 $(11\bar{2}0)$ 面で切断し切断面に白金蒸着をして用いた。水平に近い角度で母岩から成長した水晶は上面に小さい結晶の付着や汚れが認められるため、試料は小さい結晶が付着している側と汚れが多く付着している

側を上側と判断した。玉山鉱山産試料は、CL 像の明瞭な成長縞をトレースし、上側と下側それぞれについて線と線の間隔を測り成長履歴の解析を行った。

結果と考察 成長縞には産地ごとに共通するパターンが見られる。玉山鉱山産試料について、複数の試料間で同一の層の厚さを成長速度とみなして比較すると、菱面体面の上下の成長速度比 $dr_{\text{lower}} / dr_{\text{upper}}$ は 0.5-2.5 の範囲でばらつきがある。 $dr_{\text{lower}} / dr_{\text{upper}}$ の平均は約 0.8 であり r_{upper} の成長が r_{lower} の成長よりも速いが、各層の成長幅が狭いため上下の菱面体面の成長速度差は晶癖に大きな影響は与えない。CL 像より、両産地の水晶には初期、中期、および末期の 3 つの成長ステージの存在が認められる。板谷産試料では、試料全長に対する初期、中期、末期ステージの割合はそれぞれ約 20%、約 60-70%、約 10-20% である。初期ステージにおいて下側の柱面の成長速度が上側の柱面の成長速度よりも速い。初期ステージは全長の約 20% であるが重力効果が最も強くはたらいており、この段階で下側の菱面体面が大きく発達した晶癖が生じる。中期および末期ステージにおける上下の菱面体面の成長速度差では、初期ステージでできた晶癖を解消するほどの変化は起こらない。そのため、初期ステージの晶癖が先端まで維持されると考えられる。

Keywords: quartz, crystal habit, cathode luminescence method

*Corresponding author: momoko.yoshimi.t5@dc.tohoku.ac.jp

トリディマイト多像のラマン分光法による研究

神崎正美 (岡大・惑星研)

Raman spectroscopic study of tridymite modifications

Masami Kanzaki (IPM, Okayama U.)

Tridymite modifications stable at ambient conditions (PO-10, MC, MX-1) were studied by Raman spectroscopy including low-frequency region. Compiled spectra allow us to identify those modifications in natural rocks and synthetic samples. Temperature-induced transitions were also studied up to 500 °C starting from synthetic MC. Our result was mostly consistent with previous study of Hirose et al. (2005), but it also revealed significant changes at the low-frequency region for the first time. Although the anticipated soft mode for OC/HP transition was not observed, a low-frequency peak of OC disappeared at around 470 °C, suggesting much higher transition temperature than that of previous X-ray diffraction studies.

イントロダクション: トリディマイトは多くの多形を持つが、それらのラマンスペクトルは十分確立していない（以下では Nukui & Nakazawa の表記法を使う）。また、MX-1 については報告がない。MX-1 については、粉碎等で MC から MX-1 に変わることが知られているため、特に実験試料の同定に不可欠である。そこで、通常よく見られる MC, PO-10, MX-1 についてスペクトルを整理したので、報告する。さらに、高温その場ラマン分光測定も行なって、多形の低周波数領域について特に調べた。

実験方法: PO-10 は天然のものを複数、MC は天然および合成したものを使った。MX-1 については、高温から液体窒素中に落下させて作成した。また、合成した MC (MX-1 も少し混ざる) を使い、500 °C までの高温その場ラマン測定も行った。

結果と議論: 常温常圧における PO-10, MC, MX-1 のラマンスペクトルを Fig. 1 に示す。それぞれ特徴的な位置にピークがあり、簡単に同定することができる。これまで報告されている文献との比較により、従来隕石中には MC が報告されてきたが、Kimura et al. (2005) 報告のスペクトルからは PO-10 も存在することが分かった。

高温その場測定では、低周波数領域を除いて、Hirose et al. (2005) とほぼ同じ結果を

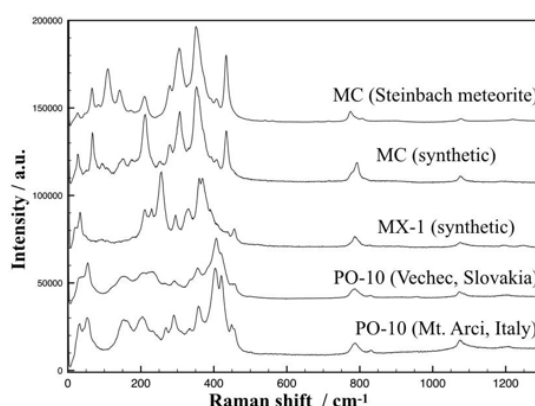


Figure 1. Raman spectra of MC, MX-1 and PO-10

得た。OP/OS 転移においては、高周波数領域ではほとんど変化がないが、低周波数領域で明瞭な変化が見られた。

OC/HP 転移に予想される OC 相のソフトモードは観察されなかったが、OC 相の低周波数ピークは 470 °C で消えた。この温度は LHP/HP 転移とされている温度に近いが、OC/LHP 転移に相当する変化は観察されなかった。それ故、この変化を OC/HP 転移と解釈したが、回折法で得られるその転移温度 (約 380 °C) よりもかなり高くなる。

Reference:

Hirose et al. (2005) Jmps, 100, 55-69.

Kimura et al. (2005) Meteor. & Planet. Sci., 40, 855-868.

Keywords: tridymite, Raman spectroscopy, polytypes, phase transition

CaO-MgO-Li₂O-V₂O₅ フラックスにおける石英, トリディマイト, クリストバライトの成長

阿部利弥(山口大理)

Growth of Quartz, Tridymite and Cristobalite in a CaO-MgO-Li₂O-V₂O₅ Flux System

Toshiya Abe* (Yamaguchi Univ.)

数年来, フラックス法によるシリカ結晶の合成を行ってきた. 小サイズではあるが, 両錐六角柱状結晶や柱面が存在しない六角両錐結晶の石英を得られるようになっていく.

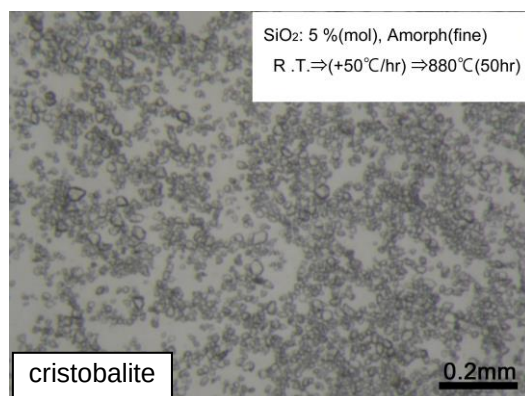
フラックスを変えることで, 異なる温度域での実験が可能となる. 昨年の鉱物科学会で報告したように, CaO-MgO-Li₂O-V₂O₅ 系フラックスでは, 石英とトリディマイトの形成が認められた. 加えて, クリストバライトも一部見られた. 生成条件確定のため追加実験をおこなったので, 今回報告する.

実験では, 粉末試薬の混合物を Pt 坩堝に入れ, 電気炉を用いて, 大気圧下空气中で所定の加熱, 冷却を行った. 回収坩堝試料には, 温水処理と HCl 処理を行い, 生成 SiO₂ を回収した. 回収物の秤量も, SiO₂-Flux 相関係(リキダス)把握のため行った.

CaO-MgO-Li₂O-V₂O₅ フラックスでは, 900~780℃での晶出実験が可能で, 石英とトリディマイト, クリストバライトが認められた. 石英は, 800, 780℃で観察され, 六角両錐形で高温型の特徴を示した. トリディマイトは, 非晶質シリカを出発原料にした多くの実験, 900, 880, 850, 800, 780℃などで, 六角板状の結晶として認められた. さらに, 石英質シリカを出発原料にした実験でも, 1000℃から冷却したものなどでは, 確認で

きた. 多くのトリディマイトは, “870℃”以下でも観察でき, 準安定相としても普通に成長する.

クリストバライトは, 非晶質シリカを出発



原料にした場合, 880℃から 800℃で準安定相として認められた. これらは XRD で容易に識別できるが, 石英とは異なる特徴を有する小粒結晶として認識できるのみで, 詳細な形態は識別できない(図参照).

870℃以下では, 安定性としては Qtz > Trid > Crist > amorphous だが, 非晶出シリカを使用した加熱実験 800~880℃での晶出は Crist > Trid >> Qtz であり, 圧倒的にクリストバライトが優勢である. 880℃の長時間加熱や徐冷実験などでは, トリディマイトの形成も見られるようになる.

Keywords: growth, flux, quartz, tridymite, cristobalite

* Corresponding author: toshiya@yamaguchi-u.ac.jp

Si 原子は珪酸塩液体中でどのように拡散しているのか

則竹 史哉* (山梨大・院総合研究部、理研)

How do silicon atoms diffuse in silicate liquids?

Fumiya NORITAKE*(University of Yamanashi, RIKEN)

Mathematical-physical modeling of transportation phenomena in silicate liquids is important and challenging topic in physics, Earth science, metallurgy, and glass technology. Some thermodynamics-based theories for transportation coefficients in the silicate liquids indicates importance of the configurational entropy (Adam & Gibbs, 1965; Richet & Bottinga, 1994). Discussion of the entropy should become easier using lattice model, moreover, it would give atomistic insights into the silicate liquids. If the modeling the silicate liquids into simple lattice model is possible, we should know elemental processes of diffusion network forming elements (Si and O). There are some hypotheses for diffusion mechanism of network forming elements. For instance, Xue et al. (1991) proposed that 5-coordinated Si species is intermediate state for diffusion from NMR spectroscopy. On the other hands, Kubicki & Lasaga (1993) reported that Si atoms diffuse via 3-coordinated Si species from molecular dynamics simulations. Knowledge about conditions that enables Si atoms to diffuse is also important. They also suggested that Si atoms need bond-breaking event to diffuse. Moreover, our recent study (Noritake & Kawamura, 2016) reported that synchronized bond-breaking is needed for diffusion of network forming elements from relationship between diffusivity and bond-exchanging rate.

In this study, I performed molecular dynamics simulations of sodium silicate liquids ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, $n = 1, 2, 3$, and 4) at atmospheric pressure consist of approximately 10,000 particles with varying temperature. Adding to ordinary analysis methods, I analyzed mean square displacement of non-bond exchanged network forming elements, difference between lifetime obtained from pair function and bond exchange rate, distribution of time for bond exchanging event, collective function (Noritake, 2017) and its relation between jump distance, self/distinct part of van Hove function of network forming elements classified into Q^n species and BO/NBO, ring structure from graph theory, and radial distribution function of synchronized bond breaking event. The silicon diffusion mechanism in silicate liquids will be discussed using detailed analyses written above.

Keywords: Silicate Liquids, Molecular Dynamics Simulations

*Corresponding author: fnoritake@yamanashi.ac.jp

一価のイオンのイオン半径の違いが引き起こす

OCP形成誘導と抑制機構

杉浦 悠紀*(産総研・健康工学)、齊藤 靖子(産総研・機能化学)、
遠藤 貴士(産総研・機能化学)、榎田 洋二(産総研・健康工学)

Effect of the Ionic Radius of Monovalent Ions on Octacalcium Phosphate Formation

Yuki Sugiura* (AIST·HRI), Yasuko Saito (AIST·RISC),
Takashi Endo (AIST·RISC), Yoji Makita (AIST·HRI)

Octacalcium phosphate (OCP), a layered calcium phosphate compound, is an attractive material for new medical combination products. OCP is fabricated primarily from soluble calcium salt via an aqueous-mediated hydrolysis process. The co-existing cations are likely to be incorporated into the OCP unit lattice during this process and affect the development of the OCP crystal structure and its thermodynamic stability. However, the key parameters of the co-existing cations, such as the ionic radii and charge number, that affect OCP formation are still unclear. In this study, we focused on the ionic radius of each monovalent ion of alkali metal ions (Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , and Cs^+) for OCP incorporation and formation in a $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (DCPD)- $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ system with alkali metal salts. There was little incorporation of Li into the OCP unit lattice at low concentrations, whereas Li was incorporated into the OCP unit lattice as a

conjugate form of NH_4 and K, which have ionic radii that are larger than Ca, resulting in a $\text{HPO}_4\text{--OH}$ layered structure in the OCP unit lattice. The Na concentration increased hyperbolically and was incorporated into the OCP unit lattice, resulting in a $\text{HPO}_4\text{--OH}$ layered structure in the OCP unit lattice. By contrast, Li, K, and Rb resulted in the $\text{HPO}_4\text{--OH}$ layer in the OCP unit lattice at low concentrations and attenuated OCP formation at high concentrations. Cs only exhibited an attenuation effect on OCP formation. Considering the differences between the Ca ionic radius (1.00 Å) and those of alkali metal ions, the alkali metal ionic radii that were smaller than ~1.5 times the Ca ionic radius could be incorporated into the OCP unit lattice, whereas those greater than ~1.5 times the Ca ionic radius exhibited an inhibiting effect on OCP formation.

Keyword: リン酸カルシウム、骨補填材、バイオマテリアル、バイオミネラルイゼーション

*杉浦 悠紀: yuki-sugiura@aist.go.jp

XAFS 法による斜長石単結晶での鉄化学種分析

中田亮一^{1*}, 佐藤雅彦^{2,3}, 潮田雅司³, 田村裕二郎⁴, 山本伸次⁴
(1 JAMSTE・高知コア, 2 東京大・院理, 3 産総研, 4 横国大・院環)

Variation of iron species in plagioclase crystals by X-ray absorption fine structure analysis

Ryoichi Nakada^{1*}, Masahiko Sato^{2,3}, Masashi Ushioda³, Yujiro Tamura⁴, and Shinji Yamamoto⁴ (1 JAMSTEC, 2 Univ. of Tokyo, 3 AIST, 4 Yokohama National Univ.)

Valence state of Fe in plagioclase varies among crystals separated from the same plutonic rock. Two different sites are confirmed as a host of Fe in plagioclase from the same rock. L_{III}-edge XANES is more suitable for speciation analysis because K-edge XANES underestimate the contribution of tetrahedral Fe.

《はじめに》

天然の斜長石中には離溶マグネタイトがしばしば含まれている事が知られている。離溶マグネタイトは深成岩中にミクロンサイズ以下のマグネタイトを晶出する特異なプロセスであり、古地磁気情報の記録媒体、地殻深部に存在する磁気異常ソースとして注目を集めている。しかし、離溶マグネタイトに関する研究は少なく、その晶出メカニズムは未解明である。本研究では、マグネタイト離溶条件決定を目指し、複数の分析手法による斜長石単結晶試料の鉄化学種分析を行う。

《試料と分析》

本研究では、ミネソタ Duluth complex (FC1) と室戸岬斑レイ岩体 (MT) から斜長石粒子を分離し、交番磁場勾配磁力計で斜長石中のマグネタイト含有量を測定した後、SPring-8 BL27SU で Fe-L_{III} 吸収端 XANES 分析、KEK-PF BL-12C で Fe-K 端 XANES 分析及び EXAFS 分析を行った。

Key words: XAFS, plagioclase, magnetic anomaly

*Corresponding author: nakadar@jamstec.go.jp

《結果と考察》

FC1 から分離した斜長石中のマグネタイト含有量は平均で 300ppm 程度であったのに対し、MT の斜長石では検出下限以下であった。全鉄に占める三価鉄成分の割合は、FC1 の斜長石が平均して 0.54 であったのに対し MT の斜長石では 0.75 であった。つまり、三価鉄成分の多い MT の斜長石では離溶マグネタイト晶出量が少なく、一方で三価鉄成分が少ない FC1 の斜長石では離溶マグネタイト晶出量が多いという結果であった。また、離溶磁鉄鉱の含有量がほぼ等しい FC1 の斜長石粒子 2 試料の Fe-K 端 EXAFS 分析から、各粒子ごとに斜長石中での鉄の配位環境が異なる事が確認され、斜長石中で鉄の配位環境変化が起こるよりも高温で磁鉄鉱が離溶した事が示唆された。これらの結果は、これまで行われてきたバルク分析では得られない知見であり、斜長石単結晶での分析を行う重要性を示している。

Mn_{3-x}Fe_xO₄ 固溶体の高圧下の電荷移動と磁気構造転移

半導体-金属転移 磁気構造転移と結晶構造転移の圧力効果

山中高光¹、服部高典²、小松一生³ 中本有紀⁴、平尾尚久⁵、Saqib Rahman¹、Lin Wang¹、Ho-kwang Mao¹、(1. 北京高压科学研究中心、2. J-PARC 物質・生命科学、3. 東京大学地殻科学、4. 大阪大学基礎工極限、5. 理科学研究所 Spring-8)

Fundamental study of charge transfer and magnetic structure change as a function of pressure of spinel and post-spinel of Mn_{3-x}Fe_xO₄ solid solution

T. Yamanaka,* T. Hattori, K. Komatsu, Y. Nakamoto, N. Hirano, S. Raman, L. Wang, H-k. Mao

遷移元素を含む酸化物スピネルは、典型的な強磁性地殻鉱物であり、また最も基本的な磁性体材料でもある。本実験ではMn_{3-x}Fe_xO₄固溶体について高圧放射光回折実験を行なったが、原子散乱能がMn(25), Fe(26)で差が無く、Fe²⁺, Fe³⁺, Mn²⁺, Mn³⁺の spinel と post-spinel 構造の 2 site の分布を決定する事は困難である。中性子回折実験では散乱断面積が Mn(-3.73 fm), Fe(9.54 fm)であり大きな差があり、J-PARC PLANET で高圧中性子回折実験を行った。Mn₂FeO₄(2GPa 300K フェリ磁性)の正確な磁気構造 ($I4_1/am'd'$) ($a_M=a_{Tet}$ $b_M=2b_{Tet}$ $c_M=c_{Tet}$) が解析できた。また高圧電気伝導度測定実験、高圧 X-線メスバウアー実験も行なった。MnFe₂O₄ (Cubic $Fd3m$) と Mn₂FeO₄ (tetragonal $I4_1/amd$) は post-spinel 相 (CaMn₂O₄-type $Pbcm$) へ転移するが、転移圧は Mn 組成の増加と共に減少し、フェリ磁性 から反強磁性に転移する。また磁気転移圧は構造転移圧より低い事が判明した。電気伝導率は加圧に伴い伝導機構は electron hopping で著しく増大する。高圧相の post-spinel は 30GPa 以上では酸化物にも関わらず金属的な伝導度を示して Band conduction になった。磁気構造解析から陽イオンの席占有率が加圧により変化する事、Mn³⁺による Jahn-Teller 効果は加圧により減少し、消滅する事が明らかになった。

Phase studies of iron bearing oxide spinels AB₂O₄ and post-spinels are essential investigations for geosciences and fundamental ferrite substances. We studied magnetic and structure transition together with Jahn-Teller (J-T) effect of Mn_{3-x}Fe_xO₄ solid solution by neutron time-of-flight scattering diffraction at extreme conditions up to about 30 GPa at room temperature at J-PARC PLANET and electric resistivity measurements under high pressure. Ambiguities in X-ray structure analyses are driven, because X-ray scattering factors of Fe and Mn are very similar: Fe (26) and Mn (25). Neutron diffraction has an effective advantage for the precise diffraction study, because of the big difference in the coherent scattering lengths: Mn (-3.73 fm) and Fe (9.54 fm). Magnetic structure of Mn₂FeO₄ ($I4_1/am'd'$ 2GPa 300K ferrimag) has different magnetic moments at the A and B site in the unit cell ($a_M=a_{Tet}$, $b_M=2b_{Tet}$, $c_M=c_{Tet}$). X-ray Mössbauer is an excellent and effective facility to detect and define the precise distribution of Fe²⁺ and Fe³⁺ in the A and B sites. The observed hyperfine structure confirmed the magnetic transition pressure. The observed total magnetic moment can be evaluated the physical properties with Bohr magnetic quantum number.

Keywords: Mn_{3-x}Fe_xO₄ solid solution, High-pressure study, Charge transfer, Magnetic structure transition, Neutron diffraction study

E-mail address: T.Yamanaka@cap.ocn.ne.jp

15.5 GPa, 2473 K で合成された新規 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 相の 放射光単結晶 X 線回折実験

栗林貴弘(東北大・院理)・周佑黙・大藤弘明・入船徹男(愛媛大・GRC)

Single-crystal synchrotron X-ray diffraction study on a new $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ phase synthesized at the condition of 15.5 GPa and 2473 K

T. Kuribayashi* (Tohoku Univ.), Y. Zhou, H. Ohfuji, and T. Irifune (Ehime Univ.)

はじめに

$\text{A}_2\text{B}_2\text{O}_7$ 型の物質の構造タイプには、パイロクロア型構造やペロブスカイトスラブ型構造などが知られている。A, B の元素の価数の組み合わせは(+1, +6; +2, +5; +3, +4)があり、A, B 席を占有する元素の価数やその大きさにより、構造が複雑に変化する。例えば、レアアースを含む珪酸塩 $\text{Yb}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ は、いわゆる層状構造を持ち、稜共有する 2 つの八面体のユニットが連結して、三角形のチャネルを作るように平面状に配列した層とそのチャネル同士を繋ぐ四面体の Si_2O_7 ユニットの層とのサンドイッチ構造をとる。

愛媛大の研究グループによって、 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の組成を持つ高圧合成相が、15.5 GPa, 2473 K の条件で合成された。この新規合成相の結晶学的解釈が欠如しているため、単結晶 X 線回折実験により結晶化学的な情報を得ることを試みた。本報告では、新規 $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ 相の結晶構造の決定に成功したので、その結果について報告する。

実験・解析

愛媛大 GRC にて、15.5 GPa, 2473 K の条件で合成された試料を X 線回折実験に使用した。結晶サイズは $80 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ である。X 線回折実験は、実験室(Rigaku, AFC-7S; MoKa 線源; 50 kV 40 mA)ならびに放射光共同利用施設 Photon Factory, BL10A において、四軸型自動回折計を用いてそれぞれ行った。放射光の波長 λ は $0.70116 \text{ \AA}$ である。実験室で、格子定数を精密化した結果(21 反射使用)、 $a = 7.0242(10) \text{ \AA}$, $b = 7.0971(13) \text{ \AA}$, $c = 6.6725(7) \text{ \AA}$, $\alpha = 103.455(12)^\circ$, $\beta = 99.087(11)^\circ$, $\gamma = 60.548(10)^\circ$, $V = 281.32(8) \text{ \AA}^3$ であり、放射光(64 反射使用)では $a = 7.026 \text{ \AA}$, $b = 7.095 \text{ \AA}$, $c = 6.671 \text{ \AA}$, $\alpha = 103.47^\circ$, $\beta = 99.12^\circ$, $\gamma =$

60.55° , $V = 281.23 \text{ \AA}^3$ を得た。両者は誤差範囲で一致する。また、 $Z = 3$ である。結晶サイズの問題から、 $2\theta_{\text{max}} = 60^\circ$ の $h\pm, k\pm, l\pm$ の領域に対して、放射光施設で強度データを収集した(測定数 1662 反射)。独立な 1511 反射を用いて、結晶構造の決定ならびに精密化を行った。格子ならびにラウエ対称性は、ともに三斜晶系を示した。対称中心がないことを示す積極的な根拠はないため、空間群 $P1$ として構造決定を試みた。Charge Flipping 法に基づいた SUPERFLIP を用いて初期構造を決定し、SHELX97 により結晶構造の精密化を行った。解析精度は、 $R = 2.84\%$, $wR2 = 8.16\%$, $S = 1.125$ である。原子散乱因子は、中性の値を用いた。Al と Si の散乱特性の類似性から両者を区別することは難しいため、Al と Si の結晶学的席への割り当ては、四配位席に Si, 六配位席については、八面体同士の共有状況を考慮して行った。また、実際の各席における Al/Si の占有状況を、配位多面体の平均結合距離に基づいて推定した。

結果と考察

$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ の構造は、歪んだ酸素の六方最密充填(ABAB 型)を基本としており、構造中に、四配位席と六配位席が存在する。完全秩序配列を仮定すると、Si は四配位席 1 つと六配位席 2 つを占有し、Al は六配位席 3 つを占有する。四面体 $[\text{Si}1\text{O}_4]$ は、等価な四面体 $[\text{Si}1\text{O}_4]'$ と 1 つの頂点を共有し Si_2O_7 ユニットを形成しており、ソロ珪酸塩に分類できる。レアアースを含む珪酸塩 $\text{R}_2\text{Si}_2\text{O}_7$ と同様、層状構造と解釈できるが、層内には四面体と八面体が存在するため、明らかに異なっている。

本構造は、ペロブスカイト型構造と関係する構造タイプであるため、地球科学的に、三価のイオンを取り込む構造として、重要な役割を果たす可能性がある。

Keywords: Single-crystal X-ray diffraction, crystal structure, $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$, new high-PT phase

Corresponding Author: t-kuri@tohoku.ac.jp

緻密な酸化インジウム焼結体の合成と酸素欠陥化学

(NIMS) 坂口勲^{*}、齋藤紀子、鈴木拓

Synthesis of polycrystalline In_2O_3 and oxygen defect chemistry

(NIMS) Isao Sakaguchi^{*}, Noriko Saito, Taku T. Suzuki

Dense polycrystalline indium oxide (In_2O_3) was fabricated by the conventional sintering technique. Especially, we fabricated In_2O_3 with the relative density of 98% by SrO and GeO_2 doping. Oxygen diffusion showed the effect of Sr and Ge in In_2O_3 .

I. 緒言

近年、酸化物半導体ガスセンサの応用の広がりやガスセンサの耐水蒸気性の向上、ガス選択性の向上、動作の省電力化、小型化が必要になってきている。そのため、これまでの粉末膜ではなくスパッタ法による薄膜化が必要となってきた。しかし、元々良好な酸化物半導体薄膜になってしまう ZnO , SnO_2 , In_2O_3 薄膜をガスセンサに応用するための大きな技術課題はスパッタ法に利用するセラミックスターゲットにある。 SnO_2 と In_2O_3 では緻密かつ高抵抗でスパッタ法に耐えうるセラミックスターゲットはない。本研究では緻密な In_2O_3 多結晶体を合成し、デバイス寿命に関連する酸素欠陥評価を行った結果を報告する。

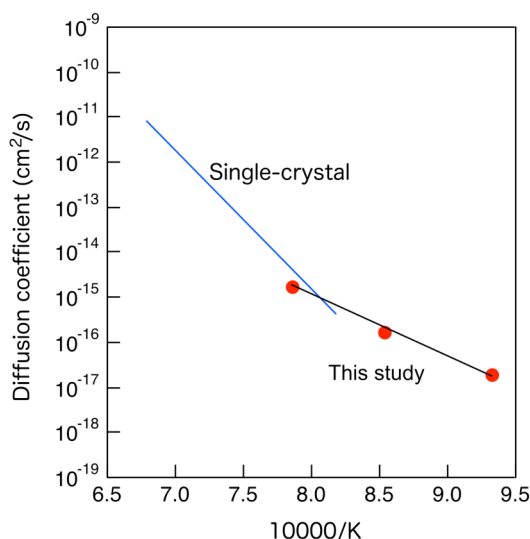
II. 実験

高密度の酸化インジウム(In_2O_3)を合成するために、0.13 mol.%の SrO と GeO_2 をを添加した In_2O_3 を基本組成とした。この粉末を仮焼、粉碎した。この粉末を用い酸素

気流中で 1300 - 1400°C の温度範囲で焼結した。焼結体の相対密度は 98% を超える。 ^{18}O をトレーサーとした酸素拡散実験を行い、酸素欠陥の評価を行った。

III. 結果と議論

図 1 に酸素拡散のアレニウスプロットを示した。得られた酸素拡散係数はフラックス法で得られた酸素拡散の延長線と一致する。酸素拡散の活性化エネルギーは単結晶よりも小さく、添加した Sr と Ge による不純物効果として考えられる。



透明ナノ多結晶ヒスイの超高压合成に向けて

入船 徹男・満 圭祐 (愛媛大 GRC)・山田 明寛 (滋賀県立大工)

Toward ultra-high pressure synthesis of transparent nano-polycrystalline jadeite

Tetsuo Irifune*, Keisuke Mitsu, (GRC, Ehime Univ.), Akihiro Yamada (School of Eng., Univ. Shiga Pref.)

We have been synthesizing various transparent polycrystalline minerals under ultrahigh pressure using multianvil apparatus. Here, we report the synthesis and some characteristics of transparent polycrystalline jadeite with grain sizes down to around 200 nm.

1. はじめに

ヒスイ (jadeite) は日本鉱物科学会により、日本の国石として選定されている。通常は多結晶体であり、高い靱性を示すことが知られているが、可視領域の透光性は低い。我々は、マルチアンビル装置を用いた超高压合成法により、様々な高压相鉱物の透明ナノ多結晶体合成に取り組んでいる。現在ヒスイの透明ナノ多結晶化を試みているが、これまでに得られている合成試料の特徴について報告する。

2. 実験方法

超高压合成には、GRC 設置のマルチアンビル装置を用いた。出発物質として、酸化物・炭酸塩の混合物を電気炉で熔融・急冷して得られた $\text{NaAlSi}_2\text{O}_6$ 組成のガラスバルク体から、超音波加工装置によりくり抜いた円柱を用いた。実験は圧力 10-20 GPa、温度 800-1300°C の条件下で、1 時間の加熱によりガラスの結晶化と焼結を同時におこなった。一部の実験では、粒成長を抑えるため加熱時間を短くした。回収試料に対して光学顕微鏡観察、微小部 X 線回折実験、及び SEM・TEM 観察、透光率・硬度測定をおこなった。

3. 結果と考察

ヒスイの結晶化は 900-1000°C 付近でみられ、圧力の増加とともに結晶化温度はやや上昇した。加熱時間 1 時間で得られ

ヒスイの多結晶体は、乳白色～半透明であった。得られた試料は、Irifune et al. (2016)によりグロシュラーガーネットに対して報告されているように、圧力が高いほど粒径が小さい傾向が認められた。しかし、この加熱時間では 200-300 nm 程度以下の試料は得られなかったため、粒径が最少になると期待される 20 GPa・1300°C 程度の条件で、加熱時間を 20 分と短くした合成実験を行った。この結果、透光性の高い試料が得られた (図 1) が、現在のところ粒径 100 nm 以下の透明ナノヒスイを得るには至っていない。発表では、これらの試料の透光率や硬度についても報告する予定である。



図 1. 超高压合成透明多結晶ヒスイの例 (透明部分)。直径約 2 mm、厚み 1.1 mm。

[1] Irifune et al. (2016) Nat. Commun., 7, 13753.

Keywords: jadeite, ultra-high pressure synthesis, multianvil apparatus, nano-crystals

*Corresponding author: irifune@dpc.ehime-u.ac.jp

低圧構造部と高圧構造部が秩序配列したヒ素結晶相

吉朝 朗 (熊本), 徳田 誠 (東北大), 三澤 賢明 (九産大)

A unique arsenic crystalline phase with an ordered arrangement of low- and high-pressure structure parts

Akira Yoshiasa* (Kumamoto Univ), Makoto Tokuda (Tohoku Univ),

Masaaki Misawa (Kyushu Sangyo Univ.)

The crystal structure of $Pnm2_1$ -As (pararsenolamprite) is a novel structure in which the basic portions of metallic grey-As and semi-conductor black-As are alternately arranged at the atomic level. Total charges are clearly divided into positive and negative in the same elements for the grey-As and black-As portions, respectively, is of importance. The sequence in which one-dimensional electron donor and acceptor portions alternate in the layer will be the first description [2].

大分県向野鉾山で発見された pararsenolamprite は、自然ヒ素結晶の第三の多形である[1]。今回リガク社製 XtaLAB SuperNova を用いた単結晶 X 線回折法により構造を決定し、第一原理計算により電子状態のシミュレーションを行ったので報告する[2]。この単体ヒ素の多形($Pnm2_1$ -As)は、低温低圧相 $Bmab$ -As (黒リン構造)と高温高圧相 $R3m$ -As の構造部が原子レベルで秩序配列 (混在) したユニークな構造を持っている(図 1)。結晶学的に非等価な As 席は 8 種類である。全ての原子は(010)面に平行な鏡面上に位置している。結合角および結合距離は、化学結合特性および結合電子の軌道の有用な指標であるため、多形間で比較した。 $Pnm2_1$ -As 内での平均角度の 94.45° に対して、それよりも大きい角度を持つ As3 (98.2°) と As4 (96.3°)、小さい角度の As1 (89.4°) と As2 (94.0°) のグループに分かれる。 $Pnm2_1$ -As の層内および隣接層間の As-As 距離は、 $R3m$ -As と $Bmab$ -As の中間値である。

この構造は、高温高圧構造部と低温低圧部が、それぞれ正と負に帯電し、同じ元素間でも極めて興味深い。電子状態の違いは、特に d 軌道の混成の違いにより現れる[2]。

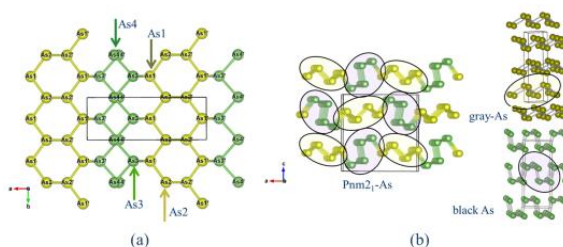


図 1. pararsenolamprite ($Pnm2_1$ -As)と他のヒ素結晶相との構造比較[2]。

[1] S. Matsubara et al., Mineralogical Magazine, **65**, 807 (2001)

[2] A. Yoshiasa et al., Sci. Reports, **9**, 6275 (2019)
<https://doi.org/10.1038/s41598-019-42561-8>

Keywords: pararsenolamprite, crystal structure, electronic structure, first-principles computational method.

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

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Fri. Sep 20, 2019 9:15 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:15 AM - 3:00 AM UTC | 📍 Lecture 1b
Lecture

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Tomoki Nakamura, Yusuke Seto

[座長]

中村 智樹：R5-01～R5-06

瀬戸 雄介：R5-07～R5-11

9:15 AM - 9:30 AM JST | 12:15 AM - 12:30 AM UTC

[R5-01] Mineralogical investigation of enstatite whiskers in Paris primitive CM chondrite by using SR-nanoXCT and TEM

*Masahiro Yasutake¹, Epifanio Vacarro², Kentaro Uesugi³, Akihisa Takeuchi³, Tsukasa Nakano⁴, Akira Tsuchiyama^{1,5} (1. Ritsumeikan University, 2. Natural History Museum, London, 3. SPring-8, 4. GSJ/AIST, 5. GIG/CAS)

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

[R5-02] Micro textures of TCIs in CM carbonaceous chondrites

「発表賞エントリー」

*Akane Iemoto Iemoto¹, Yusuke Seto¹, Akira Miyake² (1. Kobe Univ., Sci., 2. Kyoto Univ., Sci.)

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

[R5-03] Reinvestigation of CM-CO clan classification

*Makoto Kimura¹ (1. National Institute of Polar Research)

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

[R5-04] Dolomite in the Ivuna meteorite (CI) and search for its fluid inclusions

*Akira Tsuchiyama¹, Momoko Hashino², Akira Kitayama², Akira Miyake² (1. Ritsumeikan Univ./GIG, 2. Kyoto Univ., Sci.)

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

[R5-05] Mineralogical study of NWA 7317 and Tafassasset: Two “equilibrated” meteorites related to CR chondrites

「発表賞エントリー」

*Abe Daiki¹, Takashi Mikouchi² (1. Tokyo Univ., Sci., 2. Tokyo Univ., Univ. Museum)

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

[R5-06] Mineralogical and petrological study of a dark inclusion in the NWA 1723 L chondrite

*Miki Takahashi¹, Tomoki Nakamura¹, Michael Zolensky² (1. Tohoku Uni. Sci., 2. NASA/JSC)

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

[R5-07] Nano-order chemical state analysis for H₂⁺-irradiated corundum simulating space weathering

*Yohei Igami¹, Shunsuke Muto¹, Masahiro Ohtsuka², Yuta Yamamoto¹, Aki Takigawa³, Akira Miyake³ (1. Nagoya Univ., IMaSS, 2. Nagoya Univ., Eng., 3. Kyoto Univ., Sci.)

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

[R5-08] He irradiation experiments of hydrous carbonaceous chondrites to simulate space weathering of C-type asteroids

*Tomoki Nakamura¹, Cateline Lantz², Shiho Kobayashi¹, Nakauchi Yusuke³, Amano Kana¹, Rosario Brurnetto², Megumi Matsumoto¹, Miki Takahashi¹, Moe Matsuoka³, Takaaki Noguchi⁴, Toru Matsumoto¹,

Akira Miyake⁵, Akira Tsuchiyama⁶, Mike Zolensky⁷ (1. Tohoku Univ. , 2. IAS, Univ of Paris Sud, 3. ISAS/JAXA, 4. Kyushu Univ., 5. Kyoto Univ., 6. Ritsumeikan Univ., 7. NASA/JSC)

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

[R5-09] In-situ hydrothermal alteration experiments using GEMS analog particles

*Satomi Enju¹, Akira Tsuchiyama^{1,2} (1. Ritsumeikan Univ., 2. Guangzhou Inst. Geochem., CAS)

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

[R5-10] Strain analyses for the L6 ordinary chondrites by the X-ray diffraction method

*Naoya Imae¹ (1. NIPR)

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

[R5-11] Shock history of Northwest Africa 2139 LL6 chondrite

*Atsushi Takenouchi¹, Hirochika Sumino², Karin Shimodate², Keisuke Nagao², Akira Yamaguchi^{1,3} (1. NIPR, 2. The Univ. of Tokyo, 3. SOKENDAI)

CM コンドライト Paris 中エンスタタイトウィスカーの放射光ナノ XCT および TEM による分析

安武 正展 (立命館大学)、Vaccaro Epifanio (ロンドン自然史博物館)、
上杉 健太郎 (Spring-8)、竹内 晃久 (Spring-8)、中野 司
(GSJ/AIST)、土山 明 (立命館大学、中国科学院広州地球科学研究所)

Mineralogical investigation of enstatite whiskers in Paris primitive CM chondrite by using SR-nanoXCT and TEM

M. Yasutake* (Ritsumeikan Univ.), E. Vaccaro (Natural History Museum, London), K. Uesugi (Spring-8), A. Takeuchi (Spring-8), T. Nakano (GSJ/AIST), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., GIG/CAS)

はじめに エンスタタイトウィスカーは、コンドライト的化学組成を持つ多孔質な惑星間塵 (CP-IDPs) に含まれ、glass with embedded metal and sulfide (GEMS)とともに CP-IDPs に特有な構成物である[1]。エンスタタイトウィスカーは、[100]方向に極端に伸長した形状と[100]方向に平行ならせん転位を持ち、ガスから凝縮により形成されたと考えられている[3]。

近年、非常に始原的な炭素質コンドライト (PCC) のマトリックス中に、これらの CP-IDPs 構成物に類似するものが発見されている[2,3]。しかし、PCC にて発見されたウィスカー状エンスタタイトは主として研磨片により観察されており、これらのエンスタタイトが板状結晶の断面か CP-IDPs 中と同様のウィスカー結晶であるか不明である。本件では、PCC 中ウィスカー状エンスタタイトの産状および鉱物学的特徴を報告する。

試料と実験方法 本研究では、始原的 CM コンドライト Paris 隕石を用いた。Paris 中のマトリックスを FIB (Helios G3, Thermofischer Sicence) を用いて約 25 μm 四方の微小試料に加工した。CT 撮影は Spring-8、ビームライン 47XU にて行った。撮影の際は DET 法を用いて、二つのエネルギーの X 線 (7 keV、7.35 keV) にて撮影し鉱物相と大まかな化学組成を推定した。その後、TEM 切片に加工し TEM (JEM 2100F, JEOL) にて観察した。

結果と議論 観察したマトリックスは、タイプ 1 コンドリュールの周囲に取り囲むように分布しており、表面は多孔質で主に非晶質ケイ酸塩 (A.S.) から構成されている。また、A.S. はサブミクロンサイズの鉄に富む粒子を多数包有している。

CT 像による 3 次元観察により、このマトリックスは、観察した領域において表面とほぼ同様の多孔質な組織を持つ。また、一方に著しく伸長した繊維状構成物を含むことが確認された。これらの中で最大の繊維状構成物 (幅約 300 nm 長さ約 5 μm) は鉄を少量含むエンスタタイトであり、繊維状粘土鉱物ではないことが推定された。

TEM による微細組織観察の結果、マトリックスは、GEMS 様組織を持ち、Fe に富む包有物は主に Fe もしくは Ni に富む硫化物であった。また、マトリックスの一部は変質によるものと考えられる低結晶性層状ケイ酸塩鉱物を含む。一方、CT により観察された最大の繊維状エンスタタイトは、ほぼ変質の影響を受けておらず櫛状組織等は見られない。また、全体的に湾曲した形状をしており、破断面が存在する。これらの特徴は、コンドライト母天体中もしくは集積過程で形成されたと考えられる。この結晶は、CP-IDPs 中のものと同様に[100]方向に伸長しており、(100)面に多数の積層結果を含む。一方、CP-IDPs 中のものと異なり、らせん転位は含まれない。これは形状的特徴を形成した変形や破壊の過程で損失したためであると考えられる。

以上の結果から、少なくともある一定数のエンスタタイトウィスカーが、GEMS 様マトリックスと共にコンドライト母天体に集積されたと考えられる。

参考文献：[1] Bradley (2014) *Treat. Geochemi.*, 1, 287-208. [2] Leroux et al. (2015) *GCA*, 170, 247-265. [3] Vaccaro (2016) Ph.D. thesis, The Open University.

Keyword: Primitive chondrite, CM chondrite, enstatite whisker, SR-XCT

Corresponding author: M. Yasutake, E-mail address: yasutakemasahiro.mteo@gmail.com

水質変質程度の異なる CM コンドライト中 TCI の微細組織観察

家本あかね*, 瀬戸雄介 (神戸大・院・理), 三宅亮 (京都大・院・理)

Micro textures of TCIs in CM carbonaceous chondrites

Akane IEMOTO*, Yusuke SETO (Kobe Univ. Sci.), Akira Miyake (Kyoto Univ. Sci.)

はじめに: CM コンドライトには、トチリナイトとクロンステッタイトの連晶組織 (tochilinite-cronstedtite intergrowth, 以下 TCI) が普遍的に存在する。TCI には type-I と-II の二種類があり、前者はマッシュでコンドリュール中に存在することが多いのに対し、後者は繊維状でマトリックス中に存在する。Type-I は金属 Fe などの前駆物質が水質変質することによって生成すると考えられている[1]が、type-II については様々な前駆物質や形成プロセスが提案されている[2, 3 など]。TCI は水質変質程度を問わず全ての CM コンドライトに含まれており、母天体の水質変質環境に関する重要な情報を保持している。しかし、その組織は非常に細かいためサブミクロンスケールで詳細に記載した研究例は少ない。そこで、本研究では 5 つの CM コンドライトの type-II TCI について TEM による微細組織観察を行い、その形成プロセスを検討した。

試料と手法: QUE97990 (2.6), Murchison (2.5), Murray (2.4-2.5), Cold Bokkeveld (2.2), Nogoya (2.2) の 5 つの CM コンドライトを対象とした。括弧内の数値は文献[4]の見積もりによる水質変質の程度を表す(2.6 が最も低く、2.0 が最も高い)。それぞれの隕石に含まれる type-II TCI に対して、SEM-EDS (JEOL, JSM-6480LAI) による組織観察・組成分析を行ったのち、FIB (FEI, Quanta 3Di) を用いて薄膜加工し、STEM-EDS (JEOL, JEM2100F) による微細組織観察を行った。

結果と考察: 水質変質程度の小さい二つの CM 隕石(QUE97990, Murchison)では、どちらの type-II TCI もマトリックス中に点在し、数 100 nm ~ 数 μm のトチリナイトとクロンステッタイトで構成されている様子が観察された(図 1a)。TEM 観察では、クロンステッタイト中の非常に細かい割れ目やへき開に、脈状のトチリナイトが差し込まれた組織がみられた(図 1b)。このことは、クロンステッタイトの形成中あるいは形成後にトチリナイトが形成したことを示唆する。一方、水質変質程度の大きい Cold Bokkeveld の TCI はコア-リム構造を示した(図 1c)。コア部分は非常に細かい繊維状(数 10 nm)の Mg-rich クロンステッタイトと mixed-layer phase (MLP; トチリナイトとクロンステッタイトのシートが交

互に積層したもので)構成されており、リム部分は QUE97990 や Murchison のような比較的粗粒なトチリナイトとクロンステッタイトで構成されていた(図 1d)。水質変質程度が同程度に大きい Nogoya の TCI もコア-リム構造を示し、空隙の大きい繊維状のサーペンティンからなるコアから、繊維状のクロンステッタイトと MLP からなるリムにかけて、連続的に変化している様子が観察された。変成が中程度の Murray では、上記のどちらのタイプの TCI もみられた。

今回の観察において、中心に無水ケイ酸塩鉱物やメタルなどの前駆物質を含む TCI はみられず、また水質変質程度の大きい CM 隕石の TCI のコア部分は、細かい繊維状の組織を成していた。これらのことは、type-II TCI は何らかの前駆物質(固体)を置き換えたものではなく、液中から直接核形成したという可能性を示唆する。この場合、水質変質の大きい隕石でみられたコア-リム構造は、成長中の液体環境の変化に対応すると考えられる。また Cold Bokkeveld の TCI のリムが QUE97990 や Murchison の TCI と類似していることは、この 2 つの水質変質の小さい CM 隕石が Cold Bokkeveld の TCI が経験した変成プロセスの最後のステージと似た環境を経験したのかもしれない。

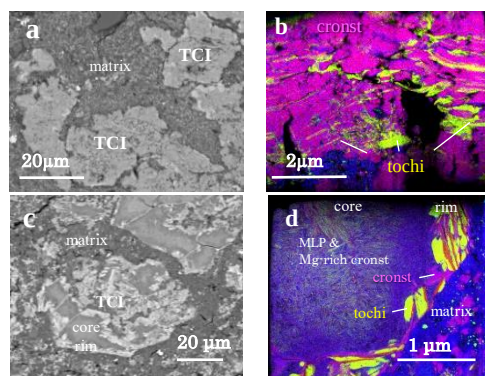


図 1. Murchison (a,b)及び Cold Bokkeveld (c,d)に含まれる代表的な type-II TCI の SEM による BEI と、STEM による EDX 元素マップ(赤:Fe, 緑:Si, 青:S)。

References: [1] Tomeoka & Buseck (1985) *GCA* **49**, 2149-2163. [2] Pignatelli et al. (2016) *MAPS* **51**, 785-805 [3] Lee et al. (2013) *GCA* **121**, 452-466. [4] Rubin et al. (2007) *GCA* **71**, 2361-2382.

Keywords: CM carbonaceous chondrites, aqueous alteration, TCIs, STEM

Corresponding author: a.iemoto@stu.kobe-u.ac.jp

CM-CO クランの再検討

木村 眞* (極地研)

Reinvestigation of CM-CO clan classification

M. Kimura* (NIPR)

The characteristic features of CM and CO chondrites are compared, based on the study of primitive CM-related and CO chondrites. The classification criteria and the genetic relationships between CM-CO clan chondrites are discussed.

CM コンドライトは炭素質コンドライト中で最大のグループで、小惑星探査機の回収試料との関連も議論されている。これらの隕石は CO コンドライトと共に CM-CO クランに属するとされている。しかしながら、CM コンドライトは全てが様々の程度の変質作用及び一部は熱変成作用を被っており、CO コンドライトとの特徴の比較や両者の始源物質の検討は困難であった。

最近 Kimura et al. (2019) は従来知られていたどの CM あるいは関連隕石よりも二次的作用の程度が低い3個の CM-related 隕石を報告した。本研究ではこれらの隕石の特徴を始源的特徴を保持していると考えられている CO コンドライト、Yamato (Y)-81020, Allan Hills (ALH)-77307 隕石と比較し、CM と CO コンドライトの特徴の類似点、相違点を明確化すると共に、両者の関係を議論する。

今回研究した CM-related 及び他の CM コンドライトは CO コンドライトと下記の類似性を持っている。

1. カンラン石組成の分布
2. コンドルール中のメソスタシスの特徴
3. マトリックス組成

4. メタルの特徴

5. マトリックスのラマン特性

これらの類似性は CM-CO クランの共通の特徴である。

一方、下記の相違点が観察される。

1. コンドルールの存在度
2. マトリックスの存在度
3. 難揮発性包有物の存在度
4. コンドルールのサイズ
5. 変質作用の程度

これらの相違点、特にコンドルールとマトリックスの存在比、コンドルールのサイズは両者で明瞭に異なり、両者を分類する上で基準となる。

これらの点から CM, CO コンドライトはおそらく同様の酸素同位体組成のリザーバーで前駆物質は生じたが、より多くの難揮発性包有物とやや小さなコンドルールと相対的に少量のマトリックス物質を集めたものが CO の始源物質となったと思われる。従って、両隕石は別の母天体、あるいは場所で生じた可能性が高い。

Keywords: CM chondrite, CO chondrite

*Corresponding author: kimura.makoto@nipr.ac.jp

Ivuna 隕石 (CI) 中のドロマイトと流体包有物の探査

土山 明* (立命館大, 広州地球化学研究所), 橋野桃子(京大理),
北山 晃 (京大院理), 三宅 亮 (京大院理)

Dolomite in the Ivuna meteorite (CI) and search for its fluid inclusions

A. Tsuchiyama* (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem., CAS), M. Hashino (Kyoto Univ.), A. Kitayama (Kyoto Univ.), A. Miyake (Kyoto Univ.),

はじめに

母天体で強い水質変成を受けた CI, CM, CR などの炭素質コンドライト中の水は、OH 基や H₂O 分子として鉱物中に取り込まれており、液体の水の存在は確認されていなかった。最近、我々は X 線ナノ CT と低温ステージを用いた TEM 観察により、Sutter's Mill 隕石 (CM) の方解石中に数 10 nm サイズのナノ流体包有物を見出した[1]。方解石は水質変成中に流体から析出し、流体の一部が包有物として取り込まれたものである。今回見出された流体包有物は CO₂ に富むと考えられ、流体の元となった氷は CO₂ スノーライン以遠で生成された可能性が高い。

本研究では、CM と同様に強い水質変成を受けた CI 隕石中に流体包有物を見出すことを目的として研究をおこなった。今回用いた Ivuna 隕石をはじめとする CI は水質変成度の異なる岩相から成る角礫岩であり、また CI の主要炭酸塩鉱物は方解石ではなくドロマイトである[2]。このため、本研究では各岩相とそれに含まれるドロマイト粒子の特徴との関係をまず明らかにし、その後流体包有物の探索をおこなった。

試料と手法

Ivuna 隕石の研磨薄片 (~5×5 cm², ~1×1 mm² 粒子 10 個)を用いた。大きな薄片全体の元素マップを SEM/EDS により求め、5 つの岩相 (L1~L5) に分け、さらに構成鉱物相の違いによりサブ岩相 (L3a, L3b, L3c, L5a, L5b) に分けた。次に 109 個のドロマイト粒子について詳細な SEM/EDS 観察を行い、その特徴から 3 つのタイプ (A, B, C) に分けた。

ドロマイト 8 粒子から FIB を用いて X 線ナノ CT 用試料 (~30×30×30 μm³) を切り出し、DET 法[3]を用いて 3 次元吸収像を得た (~35 nm/voxel at 7 keV, ~40 nm/voxel at 8 keV)。いくつかの試料は SIXM[4]撮影を行い (~100 nm/voxel at 8 keV)、ミクロンサイズの包有物中の流体の有無を調べた。さらに、2 つの CT サンプルについては、FIB により TEM 用薄片を切り出し、[1]と同様の手法で、低温 (S)TEM/EDX によりナノ包有物中の流体の有

無を調べた。

結果と考察

L4 を除く L1~L5 の岩相は[2]で提案された岩相とほぼ一致する。マトリクスの Fe/Mg 比は L1 から L5 へと増加し、この順に水質変成の程度が増加していると考えられる。ドロマイトは L1, L2 に少量、L3b に普通に、L3c に豊富に出現し、その他の岩相には認められなかった。ドロマイト粒子 (~数 10 μm) の表面は一般的にギザギザで石膏によって覆われている。Type-A 粒子の石膏リムは薄く (< 1 μm) 一部にファセットが見られるのに対して、Type-C 粒子は不定形で厚い石膏リム (数 μm) を持ち、Type-B 粒子はその中間である。Type-A(-C)粒子の割合は L1, L2, L3b, L3c の順に減少(増加)する。ドロマイトの化学組成は岩相を問わずほぼ一定 (Ca₄₇Mg₄₄Fe₄Mn₅) である。これらより、ドロマイトは水質変成の初期に析出、水質変成が進むに連れて硫酸塩化 (石膏化) が起こり、やがて消滅したと考えられる。

ナノ CT によりドロマイト中には最大で 5 μm 程度のファセットを持つ包有物が見出せたが、SIXM により内部は空隙であることがわかった。そこで、CT 試料のナノ包有物 (10~100 nm) が密集する領域より FIB により TEM 用のやや厚めの切片 (~200 nm 厚) を作成し、(S)TEM/EDX 観察を行なった。多くのナノ包有にはファセットが認められた。常温および -120℃での制限視野電子線回折 (SAED) では、ドロマイトの回折のみが認められ、低温で氷に対応する回折スポットの新たな出現はなかった。ファセットの存在により包有物の中にかつては流体が存在していたと考えられるが、CM と異なり変形の影響を受けにくいナノ包有物でも、水質変成後期の硫酸塩化により、閉じ込められていた流体が逃げ出したものと考えられる。

参考文献

- [1] Tsuchiyama et al. (2018) *MAPS abstract* #6187.
- [2] Morlock et al. (2006) *GCA* **70**, 5371.
- [3] Tsuchiyama et al. (2013) *GCA* **116**, 5.
- [4] Takeuchi et al. (2013) *J. Synchr. Rad.*, **20**, 793.

Keywords: Ivuna meteorite, dolomite, fluid inclusion, X-ray nanotomography, cryo TEM

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

CR コンドライトに関係する 2 つの隕石 NWA 7317 と Tafassasset の鉱物学的研究

阿部 大樹* (東大・院理), 三河内 岳 (東大・総研博)

Mineralogical study of NWA 7317 and Tafassasset: Two “equilibrated” meteorites related to CR chondrites

Daiki Abe*(Univ. of Tokyo), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo)

はじめに:多くの CR コンドライトは水質変成を受けており、岩石学タイプ1もしくは 2 に分類される[1,2]。しかし、近年、熱変成を受けた CR コンドライト(CR6)が発見されている[3]。また、より分化が進んでいると考えられる Tafassasset や NWA 6704 の O, Cr, Ti 同位体組成が CR コンドライト領域にプロットされることがわかった[e.g., 4-6]。CR コンドライトの熱進化を理解する上でこれらの平衡(分化)隕石の岩石学・鉱物学的関係性を知ることは重要である。また、はやぶさ 2 探査機が訪れている小惑星リュウグウでは、水の量が少ないことが明らかになっており、水質変成後の熱変成による可能性があることから、CR コンドライトの熱進化は、含水小惑星の進化史においても重要な知見を与え得る。そこで、本研究では NWA 7317(CR6)と Tafassasset の鉱物学的研究を行ない、両者の関係を議論した。

試料と手法:本研究では、NWA 7317 は 1 つ、Tafassasset は 2 つの薄片試料を調べた。光学顕微鏡による組織観察を行い、FE-EPMA (JEOL JXA-8530F) による鉱物組成分析を行った。

結果:NWA 7317 は poikiloblastic な組織を示し、barredオリビンコンドルールと考えられる破片が見られた。主要構成鉱物はオリビン(Fa_{35-36})、高 Ca 輝石($\text{Fs}_{11-13}\text{Wo}_{42-45}$)、低 Ca 輝石($\text{Fs}_{27-29}\text{Wo}_{2-3}$)、斜長石($\text{An}_{45-54}\text{Or}_{1-2}$)、Fe-Ni メタル、クロマイト、トロイライトだった。一方で Tafassasset には barred オリビンコンドルールは見られなかった。Tafassasset の主要構成鉱物はオリビン(Fa_{26-28})、高 Ca 輝石($\text{Fs}_{9-13}\text{Wo}_{37-44}$)、低 Ca 輝石($\text{Fs}_{21-24}\text{Wo}_{2-12}$)、斜長石($\text{An}_{21-57}\text{Or}_{1-8}$)、Fe-Ni メタル、クロマイト、トロイライトだった。Tafassasset は NWA 7317 と似た鉱物組み合わせであったが、Tafassasset の 2 薄片間で明らかな違いが見られた。例えば、一方の薄片では最大約 2 mm の Fe-Ni メタルが含まれていたのに対して、もう一

方では最大 0.8 mm (平均約 0.2 mm) であった。また、1 つの薄片内での鉱物分布 (例えば Fe-Ni メタルや斜長石) も不均質であった。

議論と結論:NWA 7317 と Tafassasset 中のオリビンと輝石の化学組成はそれぞれほぼ均質であった。しかし、Tafassasset は NWA 7317 よりも Mg に富むオリビン、輝石の組成を示した。このことから 2 つの隕石の元々のオリビン、輝石組成は異なっていたことがわかる。また、それぞれの鉱物化学組成を比較すると 2 隕石間で違いがみられた。例えば、オリビン、輝石の Fe-Mg 組成は、NWA 7317 の方がより均質化していた。低 Ca 輝石中の Al と Ti 組成では、NWA 7317 は比較的均質な値であったのに対して (Al_2O_3 : 0.6-0.9 wt%, TiO_2 : 0.1-0.2 wt%), Tafassasset はやや不均質な値を示した (Al_2O_3 : 0.2-1.2 wt%, TiO_2 : 0.1-0.6 wt%)。Fe-Ni メタル組成にも違いが見られ、NWA 7317 ではカマサイト (6-7 wt% Ni) とテーナイト (17-25 wt% Ni) が独立に存在していたが、Tafassasset には化学的ゾーニングが見られた (5-28 wt% Ni)。

以上のように、両者の鉱物学的特徴の違いから、Tafassasset は CR6 よりも “非平衡” であることがわかる[7]。しかし、Tafassasset は様々な分類が提案されているように、Tafassasset の方が、CR6 より分化度が高く、メルトからの結晶化によって非平衡組成になっている可能性がある。

参考文献: [1] Weisberg M. K. et al. (1993) *GCA* 57:1567-1586 [2] Schrader D. L. et al. (2011) *GCA* 75:308-325 [3] Irving A. J. et al. (2014) *LPS XLV*, #2465. [4] Sanborn M. E. et al. (2019) *GCA* 245: 577-596. [5] Gardner-Vandy K. G. et al. (2012) *GCA* 85:142-159. [6] Breton T. et al. (2015) *EPSL* 425:193-203. [7] Nehru C. E. et al. (2014) 77th MetSoc., #5382.

Keywords: CR chondrite, NWA7317, Tafassasset, thermal evolution, CR parent body

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

NWA 1723 L コンドライトに含まれる

Dark inclusion の岩石鉱物学的研究

高橋実樹* (東北大), 中村智樹 (東北大),

Michael E. Zolensky (NASA/JSC)

Mineralogical and petrological study of a dark inclusion in the NWA 1723 L chondrite

Miki Takahashi* (Tohoku Univ.), Tomoki Nakamura (Tohoku Univ.),

Michael E. Zolensky (NASA/JSC)

コンドライト隕石や HED 隕石に含まれる Dark inclusions (DIs) には、特異な岩石鉱物学的特性を示すものが存在し、それらは地球に直接飛来する隕石にはない物質情報を含んでいる可能性がある。本研究は NWA 1723 L コンドライトに含まれている DI の岩石鉱物学的研究を行った結果、これまで見つかったどの隕石のタイプにも分類されない DI であることがわかった。

NWA 1723 L3.3-3.4 コンドライトに含まれる DI の大きさは約 $1.0 \times 2.0 \text{ cm}$ である。DI の大部分は $10 \mu\text{m}$ 以下の極細粒な olivine ($\text{Fa}_{23.3 \pm 0.4}$)、low-Ca pyroxene ($\text{Fs}_{2.6-22.2}$, $\text{Wo}_{0-49.4}$)、albite ($\text{Ab}_{81.8-99.9}$)、taenite、pyrrhotite で構成され、少量の serpentine と saponite も含む。olivine の組成は母岩 ($\text{Fa}_{22.9 \pm 2.4}$) と近い組成を示している。一方で、pyroxene の組成は母岩 ($\text{Fs}_{13.4-32.6}$, $\text{Wo}_{0.3-5.2}$) と DI で異なる。DI 中で olivine と low-Ca pyroxene は約 2:1 の存在比を示し、自形～半自形の組織であった。Taenite は Fe, Ni の他に Al を含む tetraetaenite であり、結晶の中心に Al が濃集し、外側に向かうにつれて Al に乏しくなるゾーニングを示した。母岩は kamacite、troilite を含むが、DI はほとんど含まない。DI のコンドリュールは大変小さく、直径約 $100 \mu\text{m}$ で存在比は 10% 以下である。大部分が斑状コンドリュ

ールで、細粒な Ca-pyroxene、plagioclase、Fe-Ni metal、taenite などの鉱物組成を示す。一方、棒状コンドリュールも 1 つ含む。棒状コンドリュールのメソスタシスは硫化物 (troilite) で、chromite、olivine を含む。

DI は微小なコンドリュールを少量含み、細粒なマトリクスが大部分を占めることから、母岩の L コンドライトとは岩石学的特徴が異なり、異なる起源を持っている。DI は水質変成と熱変成を経験している。層状珪酸塩を含むことから、DI はスノーラインの外側に起源を持つと考えられる。マトリクス存在度が非常に高いことから、DI の母天体は太陽から遠い領域に存在したことが考えられる。また、olivine の組成が母岩とほとんど同じであることから、母岩の L コンドライトに集積後に熱変成を受け、組成が平衡に近づいたことが考えられる。

マトリクスを多く含む CI や CM コンドライト (Brearley and Jones, 1998) と比較すると、コンドリュールの大きさや層状珪酸塩の含有量、マトリクスの存在度が異なる。本研究で発見された DI は、これまで発見されたどの隕石タイプにも属さない。したがって、この DI の起源を解明することは、太陽系初期の物質進化を解明する上で非常に重要である。

Keywords: ordinary chondrites, dark inclusions

*Corresponding author: miki.takahashi.p4@dc.tohoku.ac.jp

宇宙風化を模擬した水素イオン照射コランダム のナノオーダー化学状態分析

伊神 洋平・武藤 俊介・大塚 真弘・山本 悠太(名古屋大学)・
瀧川 晶・三宅 亮(京都大学)

Nano-order chemical state analysis for H_2^+ -irradiated corundum simulating space weathering

Yohei IGAMI*, Shunsuke MUTO, Masahiro OHTSUKA, Yuta YAMAMOTO (Nagoya Univ.),
Aki TAKIGAWA, Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

【はじめに】 月や小惑星からのリターンサンプルからは太陽風照射による損傷組織が見出され、地球上と異なる鉱物の変成(宇宙風化)が実証された[e.g. 1]。また、星間空間に存在する星間塵も同様に、超新星爆発で加速された水素イオン等の照射による宇宙風化が起きている可能性がある[2]。こうした過程で照射された水素イオンは、鉱物内部の酸素などと化学的に相互作用し、新たな分子を形成する可能性がある。実際、走査透過電子顕微鏡と電子損失エネルギー分光 (STEM-EELS)により、惑星間塵の宇宙風化層から H_2O や H_2 の検出が報告された[3]。ただし、損傷組織との対応は明確ではなく、鉱物にも生じているであろう化学状態変化については不明点が多い。

本研究では、鉱物の水素イオン照射変成をより基礎から理解することを目指し、コランダム($\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$)への H_2^+ 照射実験と、回収物に対する STEM-EELS 詳細分析を行った。研究対象としたコランダムは星間塵の生き残り(プレソーラー粒子)としても見出されるうえに[4,5]、最も基本的な酸化物構造の一つであるため鉱物と水素イオンとの相互作用を考える上での基礎として重要な鉱物である。

【実験手法】 H_2^+ 照射実験は若狭湾エネルギー研究センターにて 40 keV, 10^{18} ions/cm² の条件で行った。回収試料から集束イオンビーム装置 (Thermo Fischer Scientific, Helios NanoLab G3 CX) にて TEM 用の断面片を切り出し、試料中に流体が存在する可能性を考慮して TEM 試料としてはやや厚めに加工した。観察・分析には加速電圧 200 kV および 1 MV の TEM (JEOL, JEM-2100, JEM-1000k RS) を用いた。

Key words: Corundum, space weathering, hydrogen analysis, electron microscopy/spectroscopy

*Corresponding author: y-igami@nagoya-u.jp

【結果・考察】 像観察の結果、表面から深さ ~300 nm までの領域に無数の格子欠陥が、深さ ~100–300 nm までの領域には約 1 nm 径のボイドが高密度で存在することが観察された。

EELS 分析では、まず、特徴的な各領域から一点ずつスペクトルを取得したが、コランダム以外の有意な特徴を見いだすことはできなかった。そこで、未損傷の基板部から照射表面までを含む領域で STEM-EELS スペクトラムイメージを取得し、多変量スペクトル分解の手法を用いて少数の素成分へ分解したところ、Al の還元と O の OH 基化を示すコアロススペクトル成分の存在を見出した。これらの成分は最表面ではなく深さ ~200 nm (損傷ピーク部) に集中して分布しており、宇宙風化による鉱物内部の OH 基形成プロセスの存在が明確となった。さらにローロス領域のデータの分解結果からは、 H_2 ガスと考えられるピークを伴うスペクトルが分解された。この成分は OH 基に比べて広い空間分布を示し、TEM 像で観察された約 1 nm 径のボイドの密度分布と一致した。このことは水素ガスがボイド中に一部残留していることを強く示す。一方、先行研究[3]でケイ酸塩から検出された H_2O は本研究では見られなかった。鉱物の構造や結合の違いにより、宇宙風化で内部に形成される分子種とその存在度には多様性が生じている可能性がある。

【引用文献】

- [1] Noguchi et al. (2011), *Science*, **333**, 1121.
- [2] Jones et al. (1996), *Astrophys. J.*, **469**, 740.
- [3] Bradley et al. (2014), *PNAS*, **111**, 1732.
- [4] Nguyen et al. (2007), *Astrophys. J.*, **656**, 1223.
- [5] Takigawa et al. (2014), *Geochim. Cosmochim. Acta*, **124**, 309.

含水炭素質隕石への He 照射による

C 型小惑星の宇宙風化再現実験

中村智樹* (東北大)、C. Lantz (IAS, Univ of Paris Sud)、小林詩歩 (東北大)、
 仲内悠祐 (宇宙研)、天野香菜 (東北大)、R. Burnetto (IAS, Univ of Paris Sud)、
 松本恵 (東北大)、高橋実樹 (東北大)、松岡萌 (宇宙研)、野口高明 (九州
 大)、松本徹 (九州大)、三宅亮 (京都大)、土山明 (立命館大)、M. E.
 Zolensky (NASA/JSC)

He irradiation experiments of hydrous carbonaceous chondrites to simulate space weathering of C-type asteroids

T. Nakamura* (Tohoku Univ), C. Lantz (IAS, Univ of Paris Sud), S. Kobayashi (Tohoku Univ), Y.
 Nakauchi (ISAS/JAXA), K. Amano (Tohoku Univ), R. Burnetto (IAS, Univ of Paris Sud), M.
 Matsumoto (Tohoku Univ), M. Takahashi (Tohoku Univ), M. Matsuoka (ISAS/JAXA), T. Noguchi
 (Kyushu Univ), T. Matsumoto (Kyushu Univ), A. Miyake (Kyoto Univ), A. Tsuchiyama
 (Ritsumeikan Univ), M. E. Zolensky (NASA/JSC)

小惑星探査機はやぶさ2による C 型小惑星 Ryugu の観測が行われ、可視、近赤外の分光データが取得された。Ryugu は大変暗い (550nm 波長で約 2% の反射率) 小惑星であり、2.7 μ m 波長に約 10% の吸収があることから全球的に含水鉱物が分布していると考えられる (Sugita et al. 2019, Kitazato et al. 2019)。また、小惑星表面の色分布を見ると、多少赤暗い領域と青明るい領域が存在し、青い領域は「そろばん玉」状の形状の Ryugu の赤道域や極地域などの高い potential の領域に分布し、一方、赤い領域は中高度緯度域に分布している (Sugita et al. 2019)。解釈として、赤い物質は小惑星への宇宙風化作用で形成され、小惑星表層のみに分布しており、過去は Ryugu は赤い物質が表面全体を覆っていたが、その後の自転速度減少などにより、赤い物質が高い potential 域 (赤道など) から滑り落ちることで表層以下に存在していた青い物質が露出したと考えられる。したがって、
 Keywords: C-type asteroid, Space weathering

*Corresponding author: tomoki@m.tohoku.ac.jp

青い物質が Ryugu 本来の物質あり、この物質が太陽風 He 照射による宇宙風化により変換することにより赤い物質が形成されたと考えることが可能である。

一方、過去の含水炭素質隕石への宇宙風化の模擬実験では、He を照射することにより赤い物質が青い物質に変化することが確認されている (Lantz et al. 2017, 2018)。したがって、実際の Ryugu 表面で観測される宇宙風化作用によるスペクトル変化と He 照射実験で起こるスペクトルの変化が全く逆向きである。この不一致は C 型小惑星の宇宙風化作用は、現状我々が理解しているよりも複雑な現象であることを意味している。

我々はこれまでの過去の He 照射では検討されていない、含水炭素質隕石の物性 (空隙率) や照射する He エネルギーのスペクトル変化に対する依存性を調べた。その結果、He 照射による色変化は、条件により赤→青になったり、青→赤になることが分かった。

GEM 模擬粒子を用いたその場水質変成実験

延寿里美 (立命館大)、土山明 (立命館大、中国科学院广州地球化学研究所)

In-situ hydrothermal alteration experiments using GEMS analog particles

Satomi Enju* (Ritsumeikan Univ.)

and Akira Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., Guangzhou Inst. Geochem., CAS)

【はじめに】 GEMS (Glass with embedded metal and sulfides) は、彗星由来と考えられている始原的な惑星間塵 CP-IDPs (Chondritic Porous Interplanetary Dust Particles) の主要構成物であり、非晶質珪酸塩粒子の内部や表面に金属及び硫化物の微粒子を伴う特徴的な組織を有する(e.g. Ishii, 2019)。また、始原的炭素質コンドライト(e.g. Leroux et al., 2015) や微隕石 (Noguchi et al., 2015) でも GEMS に類似した物質が確認されている。非晶質珪酸塩はケイ酸塩鉱物に比べ反応性が高いため (Nakamura-Messenger et al., 2011)、その有無や層状珪酸塩鉱物との共生関係は始原的隕石における水質変成の度合いの指標となる。しかし、実際のどの程度の条件にて水質変成がどのように進行していくのかについて明らかになっていない。本研究では誘導熱プラズマ装置(ITP)を用いて作成した GEMS 模擬粒子のその場水質変成実験を行うことで GEMS の水質変成過程を明らかにする。

【試料及び分析手法】 ITP 装置を用いた凝縮実験生成物を出発試料とした。凝縮実験生成物は主に Si-Mg-Fe-O 組成の非晶質珪酸塩と金属鉄及び硫化鉄の微粒子からなり、GEMS によく類似していた。本研究では出発物質と水を重量比 1 : 1 にて混合し、混合直後から連続的に X 線回折(XRD)パターンを取得を行った。54 時間反応させたのち窒素雰囲気

Key words: GEMS, CP-IDPs, amorphous silicate, hydrothermal alteration

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

気下にて乾燥させ、XRD (RIGAKU, Smart Lab)、走査型電子顕微鏡(SEM: JEOL, JSM-7001F)、透過型電子顕微鏡(TEM: JEOL, JEM2100F)を用いて分析を行った (装置は全て京都大学に設置)。

【結果】XRD パターンにおいて反応の進行に伴い非晶質珪酸塩由来のピークの強度の減少がみられたが、Igami et al. (2018) にあるような層状珪酸塩鉱物由来のピーク発生は確認できなかった。また、出発物質でみられた金属鉄及び硫化鉄のピークは変わらず存在していた。乾燥後の試料の SEM 観察を行ったところ、非常に細かな粒子の集合体であり組成的に比較的均質であった。しかし、TEM における観察では多様な粒子が観察された。出発物質由来と思われる金属鉄及び硫化鉄微粒子を伴う Mg-Si-O 非晶質珪酸塩やより粗粒な薄膜状の Si-O 非晶質珪酸塩、まれに Fe に富む集合体や gypsum も見られた。以上の結果から本実験条件では非晶質珪酸塩は水と反応はしたが、層状珪酸塩鉱物の生成には至らなかったと考えられる。

【引用】 [1] Ishii (2019) MAPS 54, 1, 202-219. [2] Leroux et al. (2015) GCA, 170, 247-265. [3] Noguchi et al. (2015) EPSL, 410, 1-11. [4] Nakamura-Messenger et al. (2011) MAPS, 46, 6, 843-856. [5] Igami et al. (2018) JpGU abstract, M-IS07.

X線回折法による L6 普通コンドライトの鉱物歪みの解析

今栄直也* (極地研・総研大)

Strain analyses for the L6 ordinary chondrites by the X-ray diffraction method

Naoya Imae* (NIPR, SOKENDAI)

Random X-ray diffraction patterns for L6 ordinary chondrites were obtained from in-plane rotation of polished sections. The strains were then obtained using the Williamson-Hall plots for olivine and orthoenstatite. That of olivine nearly shows linear relation for shock stage S1-S6. On the other hand, that of orthoenstatite shows that linear relation starts to break more than S4, and this may suggest a significant amount of transition to clinoenstatite of orthoenstatite.

はじめに：研磨片の面内回転法を用いて得られた普通コンドライトのX線回折から衝撃の影響が評価されている[1]。本研究では、L6 普通コンドライトに対して[1]と再測定を行い、かんらん石と直方エンスタタイト(Oen)の Williamson-Hall (W-H)法による歪み解析[2]を行った。

実験：14 個の L6 普通コンドライトの研磨薄片と薄片と共通する試料の3個のスラブ片を用いた。管電圧は 40 kV、管電流は 40mA で発生させた CuK α 線を用いた。測定域は $2\theta=3-75^\circ$ (θ は Bragg 角)、長手制限スリットは 5mm、発散角は $(1/6)^\circ$ とした。K β 除去に Ni を用いた。共通して着目したかんらん石の指数は 130, 211, 222, 331, 322 の5つである。Oenは 610, 511, 421, 12 00, 133, 12 12, 304 の7つである。この指数は、他相の主なピークと重ならない。 $2\theta=30^\circ$ を用いた。

結果：(かんらん石) 測定した L6 コンドライトの $\tan\theta$ -積分幅の W-H プロットは共通して正の相関を示し、高い相関係数を持ち、0.64-0.99 の範囲で、11 試料は 0.85 以上であった。(Oen) S3 までは 0.7 以上の比較的良好な相関係数を示す。S4 以上の高い衝撃段階の試料では相関係数が低くなる。

議論：(かんらん石) S1 から S6 に衝撃段階が上昇

すると歪みは 0.1%から 0.6%まで上昇するが、上昇するほど幅がある。かんらん石の衝撃実験による歪みと衝撃圧の回帰式を利用し、衝撃圧に換算した[3]。その結果、高圧鉱物を含む S6 の Tenham[4] および Sahara 98222[5]の歪みから求まる圧力はそれぞれ 35GPa および 24GPa であった。この圧力は S6 の衝撃圧(~50-70GPa, [6])としては低い。衝撃直後の焼きなましや衝撃後の再加熱により、一部歪みが解放されたと考えられる。(Oen) W-H 解析で S3 までは相関が見られる。最大歪みは約 0.3%であった。S4 以上では相関が低い。これは衝撃変成による Oen の単斜エンスタタイトへの転移の影響と考えられる。

謝辞：議論いただいた中牟田義博博士に感謝いたします。

文献：[1] Imae N. et al. (2019) M&PS 54:919. [2] Williamson G. K. and Hall W. H. 1953. Acta Metallurgica 1:22. [3] Uchizono A. et al. Min. J. 21:219. [4] Tomioka N. and Fujino K. 1997. Sci. 277:1084. [5] Ozawa S. et al. 2009. M&PS 44:1771. [6] Stöffler D. et al. 1991. GCA 55:3845.

Keywords: ordinary chondrites, olivine, enstatite, X-ray diffraction, Williamson-Hall plot

*Corresponding author: imae@nipr.ac.jp

Northwest Africa 2139 LL6 コンドライトの衝撃変成史

竹之内惇志* (極地研), 角野浩史 (東大・総合文化), 下館果林 (東大),

長尾敬介 (東大), 山口亮 (極地研, 総研大)

Shock history of Northwest Africa 2139 LL6 chondrite

Atsushi. Takenouchi* (NIPR), H. Sumino, K. Shimodate, K. Nagao (Univ. of Tokyo),
and A. Yamaguchi (NIPR, SOKENDAI)

隕石中の衝撃変成組織から衝撃イベントの変遷(衝撃史)を明らかにすることは天体の進化史や過去の小天体の動きを制約する上で重要である。普通コンドライト(特にH、LLグループ)は太陽系形成初期に複雑な衝撃史を経験している可能性が指摘されているが[e.g. 1-3]、各隕石グループの詳細な衝撃史やグループ毎の衝撃史の違いはあまり明らかではない。そのような複雑な衝撃史を解明するためには、多くの隕石において、衝撃変成組織と対応付けた衝撃変成年代の測定を行い、衝撃の形態とその発生時期の詳細な情報を得る必要がある。本研究ではLLコンドライト母天体の衝撃史を制約するため、角礫岩であるNorthwest Africa (NWA) 2139の衝撃変成組織観察及びAr-Ar、I-Xe同位体年代測定を行った。

NWA 2139は白色のクラスト部(L)と黒色の細粒な基質部(D)が存在するため、希ガス年代分析用にそれぞれの領域から二つずつ(計四つ)の試料を用意し、京都大学複合原子力科学研究所において中性子線照射を行った。希ガス分析の補正用に合成 K_2SO_4 と CaF_2 、年代の明らかな Shallowater 隕石[4]、Hb3gr 普通角閃石[5]も同時に照射を行った。希ガス同位体比測定には希ガス質量分析計(modified-VG3600)を用いた。また、クラスと部と基質部それぞれで薄片試料を作成し、国立極地研究所の走査型電子顕微鏡(FE-SEM, JEOL JSM-7100F)を用いた組織観察、顕微ラマン分光器(JASCO NRS-1000)を用いた相測定を行った。

組織観察の結果、いずれの試料でも斜長石のガラス化は見られず、波状消光を示すのみであった。また基質部では細粒な硫化物が全体に存在しており、珪酸塩のダークニングが見られた。クラスト部ではヒールドクラックが観察され、その上から新たにクラックが入っている様子も観察された。また、いずれの

薄片にも二種類の衝撃溶融脈が観察された。一つはアニールされ再結晶化したと考えられる細粒なカンラン石、輝石と硫化物で構成される脈で、もう一つは大部分がガラス質で球状の硫化物を多く含む脈である。結晶質な脈はガラス質脈にシャープに切られていた。これらの衝撃脈中には今の所高圧鉱物は観察されていない。

Ar-Ar 分析ではリコイルや ^{39}Ar -loss によりすべての試料でプラトー年代は得られなかったが、三つの試料の一部で<4.31-4.56 Ga という幅広い年代が示され、クラスト部の試料では低温で3.85 Ga、高温で4.17 Ga という2つの年代が得られた。I-Xe 年代では4.49-4.53 Gaの年代が得られた。

普通コンドライト中のI-Xe系が示す年代(4.49-4.53 Ga)は高温のピーク(1000K程度)の年代を示していると考えられ[4]、ヒールドクラックなどの高温時の衝撃や高温の残留熱で形成され则认为られる組織はこの年代よりも前に形成された可能性がある。そのためLLコンドライト母天体でも、Hコンドライトで指摘されるような[e.g. 1-2]熱変成中の衝撃イベントが4.49 Ga以前に起きていた可能性が示唆される[3]。角礫化は<4.31-4.56 Gaの間に起こり、その後クラストから得られた二つのAr-Ar年代(4.17 Ga, 3.85 Ga)で示される二回の衝撃イベントを経験し、二種類の衝撃溶融脈を形成したと考えられる。合計三回の衝撃イベントに於いて、残留熱の影響が徐々に弱まっていることから、太陽系形成初期の5-6億年間に於いて衝撃の規模や頻度が急速に弱まった可能性が示唆される。

参考文献: [1] Rubin (2004) *GCA* 68:673-689. [2] Scott et al. (2014) *GCA* 136:13-37. [3] Hugo et al. (2019) *MAPS* in press. [4] Gilmour and Clowther (2017) *Geochem. J.* 51:69-80. [5] Roddick (1983) *GCA* 47:887-898.

Keywords: Shock history, Ordinary chondrite, Ar-Ar age, I-Xe age

*Corresponding author: takenouchia24@gmail.com

Oral presentation | S1: Earth materials science in igneous processes (Special Session)

📅 Fri. Sep 20, 2019 10:00 AM - 12:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 1:00 AM - 3:00 AM UTC | 📍 A-117 East zone 1

S1: Earth materials science in igneous processes (Special Session)

Chairperson: keiko Matsumo, Mayumi Mujin, Morihisa Hamada

[座長]

松本 恵子: S1-01~S1-03

無盡 真弓: S1-04~S1-06

浜田 盛久: S1-07~S1-08

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

[S1-01] Reconstruction of lithosphere-asthenosphere boundary in arc settings by geobarometry of spinel peridotites from Ichinomegata, NE Japan

「発表賞エントリー」

*Yuto Sato¹, Kazuhito Ozawa¹ (1. Univ. Tokyo Sci.)

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

[S1-02] Native iron formation during mantle metasomatism recorded in a mantle xenolith from Aitutaki island, Cook islands

*Norikatsu Akizawa¹, Kazuhito Ozawa², Wallis Richard Simon², Akihiro Tamura³, Tatsuhiko Kawamoto⁴, Atsushi Yasumoto⁵, Chihiro Ohshima¹, Akira Ishikawa⁶, Tetsu Kogiso⁷ (1. AORI, The Univ. Tokyo, 2. Dept. Earth and Planetary Sci., The Univ. Tokyo, 3. Dept. Earth Sci., Kanazawa Univ., 4. Dept. Geoscience, Shizuoka Univ., 5. Hiruzen, 6. Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech., 7. Grad. Sch. Hum. and Environ. Stud., Kyoto Univ.)

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

[S1-03] Estimating timescales of chemical diffusion in melts utilizing a holocrystalline composite dike

「発表賞エントリー」

*Ayu Yamazaki¹, Tetsuo Kawakami¹, Fumiko Higashino² (1. Kyoto Uni. Sci., 2. Okayama Uni. Science)

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

[S1-04] Analysis of volatiles in melt inclusions of the Myoko Sekiyama (43 ka) and Kannoki (41 ka) eruptions

*Morihisa Hamada¹, Estelle F. Rose-Koga², Kenneth T. Koga², Takayuki Ushikubo¹, Kenji Shimizu¹, Hideo Harada³, Yoshiaki Yamaguchi³ (1. JAMSTEC, 2. Laboratoire Magmas et Volcans, 3. Shinshu University)

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

[S1-05] Melt inclusions in a gabbro xenolith of the Izu-Oshima 1986 eruption

*Hidemi Ishibashi¹, Oida Ryoya¹, Atsushi Yasuda², Natsumi Hokanishi², Tatsuro Chiba³ (1. Shizuoka Univ., Sci, 2. Univ. Tokyo, ERI, 3. Asia Air Survey)

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

[S1-06] The color of volcanic glass: A case study of ash from the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan

*Keiko Matsumoto¹ (1. Geological Survey of Japan, AIST)

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

[S1-07] Groundmass crystallization experiments of an andesitic pumice under low vapor pressure

「発表賞エントリー」

*Hiroki Yasukawa¹, Mayumi Mujin¹, Michihiko Nakamura¹, Shizuka Otsuki² (1. Tohoku Uni. Sci., 2. Nittetu Technology)

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

[S1-08] TEM observation of microtexture of the groundmass pyroxene crystals in the ejecta of the Shinmoedake 2011 eruption

「発表賞エントリー」

*Shota Okumura¹, Akira Miyake¹ (1. Kyoto Uni. Sci)

一ノ目潟産スピネルカンラン岩捕獲岩の圧力推定による

島弧域リソスフェア-アセノスフェア境界領域の復元

佐藤 侑人*・小澤一仁（東京大学・院理・地球惑星科学）

Reconstruction of lithosphere-asthenosphere boundary in arc settings
by geobarometry of spinel peridotites from Ichinomegata, NE Japan

Y. Sato* and K. Ozawa (Univ. Tokyo)

リソスフェア-アセノスフェア境界領域 (LABZ) は、マントルの流動特性が急変する場である。LABZ はマグマの分離深度を支配し、マントルから地殻への熱・物質輸送を司る。従って、その深度・構造・形成要因を解明することは極めて重要である。本研究は、マントル捕獲岩を用いて 60 km より浅い島弧域マントルの高精度圧力推定を実現し、LABZ の構造を復元した。一ノ目潟産カンラン岩捕獲岩の由来圧力推定に基づいて、東北日本弧下 LABZ を復元した結果について報告する。

捕獲岩 9 試料を対象に、構成鉱物の組成累帯構造を網羅することで熱史を明らかにし、捕獲岩の抽出直前の化学平衡を代表する鉱物・粒内位置・成分を特定した。これにより小さな圧力依存性を持つ地質温度圧力計を用いて圧力推定を行うことに成功した (Sato & Ozawa, 2019 Am. Min.). 得られた圧力は 0.7-1.6 GPa、温度は 830-1080 °C で、~290 K/GPa という高い地温勾配を示す。由来深度から角閃石を含み・弱変形かつ粗粒な・斜長石カンラン岩からなる浅部マントル (28-32 km) が、メルトを含み・斜長石および角閃石

を含まず・強変形かつ細粒の・スピネルカンラン岩からなる深部マントル (41- 55 km) の上に重なる層構造が復元された。

変形微細構造と組成累帯構造の関係から、捕獲岩抽出直前の加熱と同時期の流動変形を ~40 km 以深にて検出した。これは深部マントルが粘性流動する LABZ に対応することを示す。カンラン石結晶方位から推定した地震波異方性の深さ変化や、鉱物モード組成から得た地震波速度構造は、地震学的 LAB が LABZ にほぼ一致することを示唆する。変形微細構造の発達とメルトの出現深度の一致は、島弧の LABZ が含水カンラン岩のソリダスに支配されることを示す。この LABZ の形成機構を、地球物理観測から得られる火山弧から背弧にかけ温度低下するウェッジマントルの熱構造に適用することで、東北日本弧の LAB が背弧から前弧に向けて浅くなることを明らかにした。この LAB の 2 次元構造は、地震波速度構造から推定される火山弧直下の LAB 深度や火山岩から推定される前弧から背弧に向けて深くなるマグマ分離深度 (Tatsumi et al., 1994) と調和的である。

Keywords: Lithosphere-Asthenosphere boundary, geobarometry, spinel peridotite xenolith, wet solidus

*Corresponding author: syuto@eps.s.u-tokyo.ac.jp

自然鉄を晶出させるマントル交代作用：

Aitutaki 産カンラン岩捕獲岩の例

秋澤紀克(東大・大海研), 小澤一仁, Wallis S.R. (東大・地惑), 田村明弘(金沢大・地球), 川本竜彦(静大・地球), 安本篤史(蒜山地質), 大嶋ちひろ(東大・AORI), 石川晃(東工大・地惑), 小木曾哲(京大・人環)

Native iron formation during mantle metasomatism recorded in a mantle xenolith from Aitutaki island, Cook islands

Akizawa N.* (AORI, The Univ. Tokyo), Ozawa K., Wallis S.R. (Dept. Earth and Planetary Sci., The Univ. Tokyo), Tamura A. (Dept. Earth Sci., Kanazawa Univ.), Kawamoto T. (Dept. Geoscience, Shizuoka Univ.), Yasumoto A. (Hiruzen), Ohshima C. (AORI, The Univ. Tokyo), Ishikawa A. (Earth and Planetary Sci., Tokyo Tech.), & Kogiso T. (Grad. Sch. Hum. and Environ. Stud., Kyoto Univ.)

1. はじめに

これまでに数多くのマントル交代作用が報告されてきたが、本研究では報告例のない、ざくろ石の分解に伴う自然鉄の晶出が関与したマントル交代作用を報告する。

2. 岩石記載

本研究で使用した岩石サンプルは、Cook 諸島の Aitutaki 島と呼ばれる約 18 km² 程度の面積の小さな島で採取されたカンラン岩捕獲岩である。このカンラン岩は主に、カンラン石、直方輝石、単斜輝石、くすんだ赤色の鉱物から成る。Raman 分光装置と FE-SEM-EDS を用いた解析の結果、くすんだ赤色の鉱物は、 $\sim 1 \mu\text{m}$ 程のサイズの細粒な鉱物の集合体であることがわかった。構成鉱物は、丸みを帯びたカンラン石と斜長石、丸みを帯びたものから自形の自然鉄であった。この細粒鉱物集合体の中心には、不規則で溶食されたような形のクロムスピネルが含まれていた。それには割れ目が発達しており、割れ目に沿って方解石が見つかった。しかし、割れ目を追っていくと方解石は消えてしまい、割れ目を充填する以外の方解石は見つからなかった。

3. 鉱物化学組成

Keywords: Native iron, carbonate, carbonatitic metasomatism, garnet

*Corresponding author: akizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

細粒な鉱物集合体の主要元素のバルク分析を EPMA で行ったところ、ざくろ石カンラン岩中に報告されているざくろ石の組成に似ていることがわかった。さらに、LA-ICP-MS を用いた微量元素分析を行ったところ、軽希土類元素に富んでおり、ざくろ石カンラン岩中で報告されているざくろ石の組成と似ていた。以上のことから、細粒な鉱物集合体はもともとざくろ石であったと考えられる。単斜輝石の微量元素組成も、ざくろ石カンラン岩の単斜輝石の組成に似ていることは調和的である。

4. まとめ

これまでに、カーボナタイトメルトによる交代作用を記録したカンラン岩は数多く報告されてきた。しかし、その証拠としては CO₂ 流体包有物を含んでいたり、単斜輝石の微量元素組成がカーボナタイトと平衡であるといった間接的な証拠からであった。本研究で紹介したカンラン岩は、クロムスピネルの割れ目を埋める方解石が存在し、カーボナタイトメルトによる交代作用の影響を強く示唆する。自然鉄の晶出は、還元的な環境下でのカーボナタイトメルトによる交代作用の結果であると考えられる。

完晶質な複合岩脈を用いたメルト中の拡散継続時間推定

山崎あゆ*, 河上哲生(京大・理), 東野文子(岡山理大)

Estimating timescales of chemical diffusion in melts utilizing a holocrystalline composite dike

Ayu Yamazaki*, Tetsuo Kawakami (Kyoto Univ.), Fumiko Higashino (Okayama Univ. Science)

マグマプロセスの速度やタイムスケールは、火成活動の理解やモデル化に重要な情報である [1]. それらを推定する方法として、同位体年代測定や、拡散速度モデリングなどが挙げられる [1,2,3]. 例えば火山岩においては、斑晶の組成分析によって得られた拡散プロファイルから、拡散継続時間を推定し、マグマ混合等の非平衡イベントから噴火による急冷までの時間を見積もる研究がある [e.g.,3,4]. しかし、完晶質な岩石において、拡散プロファイルからタイムスケールの推定を行った研究は、著者らが知る限り無い. そこで本研究では、完晶質な複合岩脈中の鉱物化学組成分析から拡散プロファイルを求め、マグマ混合過程における拡散継続時間の推定を試みる.

本研究で用いた試料は、領家変成帯高温部(三重県津市白山町)に産する複合岩脈である. 岩脈は幅約 5m で、砂泥質ミグマタイトの片麻状構造に高角に貫入する. この複合岩脈の形成時には珪長質マグマと中間質マグマが共存していたと考えられる [5]. 複合岩脈中の珪長質岩と中間質岩の境界部分に注目し、EPMA による X 線元素マッピングや鉱物化学組成分析を行った. その結果、岩相境界から約 1.5cm 以内の珪長質岩側において、境界からの距離とともに、黒雲母の MgO 濃度や細粒斜長石リムの CaO 濃度が低下するプロファイルを得た. これらの濃度プロファイルは、拡散方程式の解 [6] でよく近似できる ($R^2 > 0.8$) ことから、前述の濃度変化は元素拡散に起因すると考えられる [5].

斜長石における粒界拡散係数と体積拡散係数の比 (10^4 - 10^5) [7] と、本試料中の斜長石の粒径 (100 μ m 以上) を考慮すると、本試料において、結晶化後は粒界拡散よりも体積拡散が有効に働いたと考えられる [7]. また、黒雲母の多結晶体における粒界拡散係数は不明である. そこで以下ではそれぞれの結晶内での拡散係数を代用して議論する. 黒雲母の (001) 面に平行な方向の Fe-Mg 拡散係数は [8]-[10]

のデータを勘案すると、斜長石の NaSi-CaAl 拡散係数より約 4 桁大きい [5]. 一方、同温度のメルト中の Ca と Mg の拡散係数はせいぜい 1 桁しか変わらない [11]. 従って、本研究で得た Ca と Mg の拡散プロファイルがほぼ同じ拡散距離を示すことや、中間質岩と珪長質岩中で非対称な拡散プロファイルを示すことは、珪長質マグマと中間質マグマがマグマの状態で共存した時期にメルト中で生じた拡散が、鉱物組成に反映されたことを示す [5].

これを踏まえ、メルト組成と Mg の拡散係数との関係式 [12] を用いて、任意の温度におけるメルト中の Mg 拡散係数を推定した. このとき必要なメルトの組成は、珪長質岩のモード組成と鉱物化学組成から推定した珪長質岩のバルク組成を用いた. こうして得られた拡散係数と、前述のフィッティングから得た拡散距離から、任意の温度での拡散継続時間が推定可能である. 中間質岩の固結時の温度は、中間質岩中の斜長石リムと普通角閃石リムの組成ペアに Hbl-Pl 温度計 [13] を適用することで、約 750°C と見積もられた. 珪長質メルト中での拡散はこの温度より高温で起きたと考えられるので、拡散継続時間は $< 10^4$ 年と推定できる. すなわち、本複合岩脈形成後のマグマ混合過程において、元素拡散が 1 万年未満継続したことが示唆される.

引用文献: [1] Turner & Costa, 2007, *Elements*, **3**, 267-272. [2] Hawkesworth et al., 2004, *EPSL*, **218**, 1-16. [3] Costa & Chakraborty, 2004, *EPSL*, **227**, 517-530. [4] Nakamura, 1995, *Geology*, **23**, 807-810. [5] 山崎ほか (2019), 日本地質学会講演要旨 [6] Crank, 1956, *Mathematics of diffusion*. [7] Dohmen & Milke, 2010, *RMG*, **72**, 921-970 [8] Usuki 2002, *Am min*, **87**, 1014-1017. [9] Cygan & Lasaga 1985, *AJS*, **285**, 328-350. [10] Liu & Yund 1992, *Am min*, **77**, 275-283. [11] Mungall et al. 1999, *GCA*, **63**, 2599-2610. [12] Zhang et al., 2010, *RMG*, **72**, 311-408. [13] Blundy & Holland, 1990, *CMP*, **104**, 208-224.

Keywords: chemical diffusion, timescale, holocrystalline rock, composite dike, magma mixing

*Corresponding author: yamazaki.ayu.36s@st.kyoto-u.ac.jp

妙高火山の関山噴火 (43 ka) と貫ノ木噴火 (41 ka) のメルト包有物の揮発性成分分析

浜田盛久^{1*}, Estelle F. Rose-Koga², Kenneth T. Koga², 牛久保孝行¹, 清水健二¹, 原田英男³, 山口佳昭³ (¹海洋研究開発機構, ²マグマ・火山研究所, フランス, ³信州大学)

Analysis of volatiles in melt inclusions of the Myoko Sekiyama (43 ka) and Kannoki (41 ka) eruptions

M. Hamada^{1*}, E. F. Rose-Koga², K. T. Koga², T. Ushikubo³, K. Shimizu³, H. Harada², Y. Yamaguchi²
(¹Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC; ²Laboratoire Magmas et Volcans, France; ³Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC; ⁴Shinshu University)

研究目的

一般に、島弧マグマは揮発性成分に富む。しかし、島弧の火山フロント側に比べて、背弧側のマグマがどの揮発性成分をどの程度含むのかについての知見は限られている。

信州大学の山口佳昭、原田英男らは、妙高火山をはじめとする中部日本背弧のいくつかの火山から採取された火山岩の石基やメルト包有物の観察・分析に基づき、マグマ溜まり中に K_2O に富むマグマバッチ (K_2O だけでなく、F, Cl および P_2O_5 にも富む) が注入されて不均質メルトが形成されると議論した。彼らは、それがスラブ起源流体による交代作用によって生じた veined mantle の部分熔融によって生成されたと議論した (例えば、山口ほか、日本鉱物科学会 2014 年年会)。

我々は、山口・原田らによる先行研究を発展させる目的で、妙高火山のメルト包有物の揮発性成分を、二次イオン質量分析計 (SIMS) を用いて高精度に分析した。本講演では、現在までに得られた結果を報告する。

試料と分析手法

妙高火山は、約 30 万年前から活動を開始し、活動休止期を挟みそれぞれ数万年の寿命を持つ 4 つの独立した成層火山がほぼ同じ位置で古い火山体の上に重なるように成長した「多世代火山」である。本研究で分析に用いた試料は、妙高火山の第 4 活動期・先カルデラスステージの関山噴火 (43 ka) 及び貫ノ木噴火 (41 ka) のメルト包有物である。これらは急冷されてガラス化しているため、背弧火山のメルトの揮発性成分の分析に適

している。

本研究では、SIMS を用いてメルト包有物の揮発性成分 (H_2O , S, F, Cl) を分析した (分析法の詳細は Shimizu *et al.*, 2017, *Geochem. J.* を参照)。

結果

カンラン石に包有された関山噴火および貫ノ木噴火の玄武岩質メルト包有物は、いずれも最大で 6 wt.% の H_2O を含み、 SiO_2 の増加に伴って H_2O が減少する傾向を示した。背弧の未分化メルトは、火山フロントの未分化メルトと同様に高含水量であり、水に飽和し、脱ガスしながら分化が進行する (例えば、Hamada *et al.*, 2014, EPS)。

関山噴火 (43 ka) のメルト包有物の F と Cl の組成は、 $MgO \sim 4$ wt.% の玄武岩質メルトの場合、600 ppm F, 1100 ppm Cl であった。貫ノ木噴火 (41 ka) のメルト包有物は、 $MgO \sim 4$ wt.% の玄武岩質メルトの場合、400 ppm F, 1500 ppm Cl であり、両者のハロゲンの組成は有意に異なっている。両噴火のマグマは、起源マントルの枯渇度や、供給されたスラブ起源流体の量が異なっていた可能性が考えられる。Cl は地殻から混入した可能性も否定できない。

貫ノ木噴火の噴出物に認められる K_2O に富む不均質メルトに関して、今後、SIMS を用いて揮発性成分の追加分析を行うとともに、微量元素の分析も進めることにより、 K_2O に富む不均質メルトの起源、さらには関山噴火と貫ノ木噴火のマグマの起源の違いについて明らかにしていく予定である。

Keywords: Myoko volcano, rear-arc volcano, melt inclusions, volatiles, SIMS

*Corresponding author: mhamada@jamstec.go.jp

伊豆大島 1986 年噴火の斑レイ岩捕獲岩中のメルト包有物

石橋秀巳*, 種田凌也(静岡大・理), 安田敦, 外西奈津美(東大地震研), 千葉達朗(アジア航測)

Melt inclusions in a gabbro xenolith of the Izu-Oshima 1986 eruption

Hidemi Ishibashi*, Ryoya Oida (Shizuoka Univ.), Atsushi Yasuda, Natsumi Hokanishi (ERI, Univ. Tokyo), Tatsuro Chiba (Asia Air Survey)

伊豆大島 1986 年噴火の B 火口噴出物中には稀に、粒間ガラスに富む斑レイ岩質捕獲岩が含まれることが報告されている(千葉他, 1987; 石橋他, 2017 火山学会要旨). 石橋他(2017)ではこの斑レイ岩質捕獲岩について岩石組織観察と相化学組成分析を行ない、以下のことを明らかにした: ①この斑レイ岩捕獲岩は、自形～半自形の斜長石(～63vol.%), オリビン(～5vol.%), OPX(～4vol.%)と発泡した粒間ガラス(～28vol.%)から構成される, ②この斑レイ岩捕獲岩に含まれる粒間ガラスには、墨流し状の明瞭な組成不均質が見られる, ③粒間ガラスは SiO₂ 含有量がおおよそ 54.5-58.5 wt.%の玄武岩質安山岩～安山岩質であり、その主成分化学組成バリエーションが 1986 年噴火 B 火口噴出物のそれと一致する. これらの結果から、石橋他(2017)では、この斑レイ岩捕獲岩が 1986 年 B マグマのマグマだまりに由来するクリスタルマッシュの欠片であり、またクリスタルマッシュ粒間でメルトの浸透流およびメルト混合がおこっていたと議論した. しかし、メルト混合発生前にこのクリスタルマッシュがどのようなメルトと共存したかについては明らかでなかった. そこで本研究では、この斑レイ岩捕獲岩の構成鉱物中に含まれるメルト包有物(MI)について化学分析を行い、クリスタルマッシュの形成過程について検討した. MI の化学分析は、東京大学地震研究所の

EPMA (JEOL- XMA8800)を用いて行った.

MI は斜長石・オリビン・OPX 中に確認できたが、その化学組成はホスト鉱物ごとに異なった. 斜長石中の MI は、他相中の MI および粒間メルトよりも系統的に MgO に富み、SiO₂ 含有量は 54-56wt.%とやや低い範囲を示す. 一方でオリビン中の MI は、斜長石中の MI や粒間メルトに比べて系統的に Al₂O₃ と CaO に富み、FeO に乏しい傾向がある. MI の K₂O/TiO₂ 比はホスト鉱物種によらず、～0.36 で一定である. また、CaO/Al₂O₃ 比もホスト鉱物種によらず～0.7 一定である. これらの値は、本研究試料中の粒間メルトも含めた伊豆大島の噴出物のうち、SiO₂ < ～56wt.%のものと同等である. SiO₂ > 56wt.%の噴出物では、SiO₂ の増加に伴って K₂O/TiO₂ 比が増加し、CaO/Al₂O₃ 比が減少する傾向があり、これは CPX や FeTi 酸化物の晶出が原因と考えられる.

以上の結果は、このクリスタルマッシュの構成鉱物と元々共存したメルトが SiO₂ < ～56wt.%であり、後により SiO₂ に富む安山岩質メルトが浸透流として粒間へと流入し、メルト混合をおこしたことを示唆する. また、流入した安山岩メルトは、CPX または FeTi 酸化物の晶出の痕跡がみられることから、クリスタルマッシュのより低温部に由来するものと考えられる.

Keywords: melt inclusion, crystal mush, gabbro, Izu-Oshima, eruption
Corresponding author: ishibashi.hidemi@shizuoka.ac.jp

火山ガラスの色調の要因：新燃岳 2018 年噴火火山灰の例

松本恵子* (産総研)

The color of volcanic glass: A case study of ash
from the 2018 eruption of Shinmoedake volcano, Japan

Keiko Matsumoto* (Geological Survey of Japan, AIST)

火山噴出物は同一の化学組成でも噴火様式によって異なる色調を呈する場合がある (e.g., Paulick and Frantz, 1997). 噴出物の物質科学的特徴は噴火様式それぞれの噴火プロセスを反映するとされ、活動的火山での重要な観測量の一つである。特に直径2mm以下の噴出物である火山灰は、大気中での拡散により遠方で採取可能なため、火山活動における有望なモニタリング対象である。これまで、火山灰の形状や結晶度の違い、また構成粒子種と噴火様式との対比に基づく研究が行われてきた (e.g., Taddeucci et al., 2004)。しかし、火山灰の色調の要因と噴火プロセスとの明確な対応付けは行われていない。本研究では、色調の異なる火山灰粒子のガラス部分の顕微ラマン分光分析から、色調と噴火プロセスとの対応を試みる。

観察および分析には、霧島山新燃岳の2018年3月1日–4月5日噴火の火山灰を使用した。実体顕微鏡観察では、3月1–2日、3日、4月5日火山灰の大部分の粒子が黒色不透明のブロック状粒子であったのに対し、6–7日試料には淡色透明の発泡粒子 (Type 1) が黒色透明の発泡粒子 (Type 2) とともに含まれていた。6–7日試料のType 1, Type 2粒子についてSEM観察およびEDSでの化学組成分析を行ったところ、いずれも石基に斜長石、輝石、鉄チタン酸化物のマイクロライトを含み、石基結晶度は約27%、石基ガラスの化学組成は

$\text{SiO}_2=68\text{--}69\text{ wt\%}$ であった。またSEMによる約4000倍の観察では、Type 2の一部粒子を除き、両者とも石基に $<1\text{ }\mu\text{m}$ の結晶は確認されなかった。一方で、Type 1, Type 2粒子の石基ガラス部分のラマン分光分析では、Type 1粒子には顕著なピークが認められなかったのに対し、Type 2粒子には 690 cm^{-1} 付近にピークが見られた。 690 cm^{-1} 付近のピークは4月5日の黒色不透明のブロック状粒子にも認められた。

690 cm^{-1} 付近のピークは、磁鉄鉱などの鉄酸化物のナノライトに該当する (Di Genova et al., 2017a)。鉄酸化物ナノライトの晶出は、残りのメルト粘性を2桁程度上昇させる (Di Genova et al., 2017b) ことから、石基ガラスが黒色であるType 2粒子は淡色のType 1粒子より高粘性だと推定される。新燃岳では、軽石礫を放出する噴火 (3月6–7日) が溶岩流出期間中 (6–9日) に発生した。黒色が高粘性マグマを示すならば、このType 2粒子は高粘性で溶岩となり流出したマグマに、淡色のType 1粒子は低粘性で停滞することなく軽石として次々と放出されたマグマに由来する粒子と考え、観察された噴火様式と整合的である。石基ガラスの黒色化からメルト粘性を定性的に推定できるならば、肉眼や顕微鏡などの可視光観察から迅速に噴火プロセスの客観的評価が可能となり、火山灰での物質科学的モニタリングの実現に繋がる。

Keywords: volcanic glass, color, Shinmoedake volcano, Raman spectroscopy

*Corresponding author: k.matsumoto@aist.go.jp

低水蒸気圧下における安山岩質軽石の石基結晶化実験

安川宙葵^{*1}、無盡真弓¹、中村美千彦¹、大槻静香^{2#}(1:東北大 2:産総研)

Groundmass crystallization experiments of an andesitic pumice under low vapor pressure.

Hiroki Yasukawa^{*1} Mayumi Mujin¹ Michihiko Nakamura¹ Shizuka Otsuki²

(1:Tohoku University 2:AIST)

【研究背景】近年、火山岩の石基中のマイクロライトの間にナノスケールの結晶が見つかり、幅 30 nm–1 μ m の結晶がナノライト、直径 30 nm 以下の結晶がウルトラナノライトと定義された (Mujin et al., 2017)。これらの結晶は火道の非常に浅部で晶出すると考えられ、火道浅部での噴火様式の分岐を記録する可能性が示された (Mujin & Nakamura, 2014)。また、これらがマグマの粘性を上昇させることも示唆されている (Di Genova et al., 2017)。このためこれらの結晶の晶出・成長条件を明らかにすることは火山噴火のダイナミクスの理解において重要である。これまでマイクロライトの減圧結晶化実験は数多く行われてきたが (Hammer and Rutherford, 2002 など)、ナノライトの結晶化実験は行われていない。本研究では火道浅部での減圧結晶化を模擬した低水蒸気圧下での結晶化実験を行い、ナノスケールの結晶の晶出条件を調べた。

【実験手法】出発物質には 1914 年桜島大正噴火で噴出した、石基結晶をほぼ含まない軽石を用いた。実験は試料をガラス管内に封入後電気炉で加熱し、一定時間保持することで行った。温度は 800–1000°C、時間は

30 分–32 時間、圧力は 0.07MPa(LVP)及び 2–6MPa(HVP)の条件で行った。

【結果・考察】磁鉄鉱と輝石の晶出状況に着目し、組織を次の 4 つに分類した。①マイクロライトが試料全体に晶出した組織、②ウルトラナノライトが試料全体に晶出した組織、③①と②の中間的な組織、④試料中に不均質に高結晶度領域が存在する組織。①のマイクロライトは 1000°C2MPa、30 分で晶出が確認できた。ウルトラナノライトは 800°C、LVP 条件のみで晶出し、2 時間後から晶出が確認できた。ウルトラナノライトの晶出には低水蒸気圧で、かつ温度もやや低下した非常に大きい過冷却度の環境を要すると考えられる。輝石ナノライトが全試料で観察されたのに対し、磁鉄鉱ナノライトは 1000°C HVP では観察されなかった。このため、磁鉄鉱は輝石に比べてより過冷却度の大きい環境で晶出しやすいと考えられる。これらの結果により、火道浅部においてマグマが経験した圧力、温度、及び定置時間を制約できる可能性がある。またこれまでの観察で、桜島火山の 2013 年及び 1978 年のブルカノ式噴火の試料において、④以外は同様の組織が観察された。

Keywords: Nanolite, Ultrananolite

^{*}Hiroki Yasukawa: hiroki.yasukawa.q4@dc.tohoku.ac.jp, [#]現所属：日鉄テクノロジー（株）Nittetsu Technology

新燃岳 2011 年噴火噴出物に含まれる 石基輝石結晶の微細組織 TEM 観察

奥村翔太*・三宅亮(京大・理)

TEM observation of microtexture of the groundmass pyroxene crystals in the ejecta of the Shinmoedake 2011 eruption

Shota OKUMURA*, Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

噴火の規模は、マグマ溜まりからマグマが上昇する過程で決定されることが考えられている^[1]。その上昇過程を推定する上で、噴出物の物質科学的研究が重要な役割を持つ。最近では、単斜輝石 (Cpx) 斑晶の化学組成に基づいて火山深部のマグマの挙動を推定する研究が進められている^[2]。一方で、噴火の爆発性が火山のごく浅部で決定された例が報告されており^[3]、マグマ上昇過程を把握するためには、噴出直前に晶出したナノスケールの結晶から情報を引き出すことが重要である。しかしながら、その組織分析には透過型電子顕微鏡 (TEM) を用いた観察を要するため、広く行われている走査型電子顕微鏡スケールでの組織観察に比べて研究例が少ない。

火山噴出物中の微細結晶を TEM 観察した例として、新燃岳 2011 年噴火を対象とした研究^[4]が挙げられる。その中では、直方輝石 (Opx) と普通輝石 (Aug) から成る幅 1 μm 程の平行連晶の存在が報告されている。同様の結晶は他火山でも発見されており、Cpx のエピタキシャル成長が示唆されている^[5]が、晶出環境との対応が明確にされていない。そこで本研究では、より多くの輝石平行連晶に対して詳細な分析を行い、ナノスケールの微細組織の記載を進めることで、晶出環境の推定を試みた。

試料には、新燃岳 2011 年噴火におけるサブプリニー式噴火の軽石^[4]を用いた。樹脂包埋し表面研磨した試料から、集束イオンビーム装置 (FIB, Thermo Fisher Scientific, Quanta 200 3DS) により TEM 観察用の薄膜試料を切り出し、TEM (JEOL, JEM-2100F) を用いて微細組織観察と電子回折図形による鉱物相の同定を行った。さらに走査型透過電子顕微

鏡法 (STEM) によるエネルギー分散型 X 線分析 (EDS) (JET-2300T, JEOL) から化学組成を測定した。

観察の結果、ほとんどの平行連晶は Opx の両側に Cpx (Aug またはピジョン輝石: Pig) が {100} 面で接合し、*c* 軸と *a** の方向が共通である構造をもつことが分かった。また、両側の Cpx が互いに双晶の関係にある粒子が存在した。さらに、Aug と Pig から構成される Cpx 領域には粒子によって組織の違いが見られ、Opx と接している位置から、①Aug → Pig、あるいは②Pig → Aug、③Aug 単相、の 3 通りの順序で接合することが明らかになった。この順序は、一つの粒子の中でも Opx 層の両側で非対称である場合が認められた。

粒子ごとに組成を比較すると、組成分布にはばらつきがあるものの、細粒の粒子の方が Fe に富む傾向が得られた。また、個々の粒子内においても、リム部が Fe に富む傾向が認められた。

これらの結果から、輝石平行連晶は Opx に Cpx がエピタキシャルに成長して形成された構造であり、その微細組織はマグマ上昇過程における晶出環境の変化や不均質性を反映していると考えられる。

参考文献:

- [1] Cashman & Sparks (2013) *GSA bulletin*, **125**, 664-690. [2] Ubide & Kamber (2018) *Nature communications*, **9**, 326. [3] Castro & Gardner (2008) *Geology*, **36**, 279-282. [4] Mujin *et al.* (2017) *American Mineralogist*, **102**, 2367-2380. [5] Sharp *et al.* (1996) *Bulletin of volcanology*, **57**, 631-640. [6] Lindsley (1983) *American Mineralogist*, **68**, 477-493.

Keywords: pyroxene, nanolite, Shinmoedake, TEM, microtexture

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

Oral presentation | R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

📅 Fri. Sep 20, 2019 2:00 PM - 3:30 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 5:00 AM - 6:30 AM UTC | 🏛️ Lecture Ia
Lecture

R2: Crystal structure, crystal chemistry, physical properties of minerals, crystal growth and applied mineralogy

Chairperson: Fumiya Noritake, Takahiro Kuribayashi

[座長]

則竹 史哉: R2-12~R2-14

栗林 貴弘: R2-15~R2-17

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

[R2-12] *In-situ* observation on the superstructure of a high-pressure phase of hemimorphite

「発表賞エントリー」

*Keitaro Okamoto¹, Takahiro Kuribayashi¹, Toshiro Nagase² (1. Tohoku Univ. Sci., 2. Tohoku Univ. Mus.)

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

[R2-13] Crystal chemistry of loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O₃: on the average and local structures

「発表賞エントリー」

*Ginga Kitahara¹, Akira Yoshiasa¹, Tsubasa Tobase², Makoto Tokuda³, Kazumasa Sugiyama³ (1. Kumamoto Univ., 2. HPSTAR, 3. Tohoku Univ.)

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

[R2-14] Crystal structure change in the grossular-Si-free katoite solid solution: oxygen position splitting in katoite

*Atsushi Kyono¹, Shubhi Arora¹ (1. Univ. of Tsukuba, Life & Environmental Sci.)

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

[R2-15] Thermally treatment on metamict minerals: case of fergusonite

*Makoto Tokuda¹, Akira Yoshiasa², Seiichiro Uehara³, Ritsuro Miyawaki⁴, Koichi Momma⁴, Kazumasa Sugiyama¹ (1. Tohoku Univ. IMR, 2. Kumamoto Univ., Sci., 3. Kyusyu Univ., Sci., 4. Nat'l. Mus. Nat. Sci.)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[R2-16] Extra-framework sites of labuntsovite-Mn from Aris Quarries, Aris, Windhoek, Khomas, Namibia

*Yurie Nakamura¹, Kazumasa Sugiyama¹, Toshiro Nagase² (1. Tohoku Univ. IMR, 2. Tohoku Univ. Museum)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[R2-17] High-temperature single-crystal X-ray diffraction study of chabazite: a crystallographic study on dehydration behavior

*Naomi Kawata¹, Keiko Fujiwara¹, Akihiko Nakatsuka¹ (1. Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.)

異極鉱高圧相における超周期構造のその場観察

岡本啓太郎, 栗林貴弘(東北大・院理), 長瀬敏郎(東北大・総学博)

In-situ observation on the superstructure of a high-pressure phase of hemimorphite

Keitaro Okamoto*, Takahiro Kuribayashi (Tohoku Univ. Sci.), Toshiro Nagase (Tohoku Univ. Mus.)

1、はじめに

異極鉱 $\text{Zn}_4[\text{Si}_2\text{O}_7](\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ は、亜鉛鉱床に二次鉱物として広く産出する。常温常圧下での空間群は $Imm2$ で、 SiO_4 四面体と $\text{ZnO}_3(\text{OH})$ 四面体による頂点共有の三次元網目構造中に、水分子と OH 基で占められたチャンネルが存在する。異極鉱は四面体 6 個から構成される、二次構造単位(SBU: Secondary Building Unit, 図 1a)を有する。約 2.5 GPa を境に SBU が回転し、空間群 $Pnn2$ への圧力誘起相転移を生じる (Seryotki & Bakakin, 2011)。また 20 K では、水素結合の秩序化による四倍格子の低温相が報告されている (Libowitzky *et al.*, 1998)。本研究では、高圧下の異極鉱が低温相のような超周期構造を生じるかを、放射光線源を用いた単結晶 X 線回折実験によって調べた。

2、実験手法

中国雲南省産の異極鉱から、常圧用と高圧用に粒径の同じ別々の単結晶試料($60 \times 70 \times 80 \mu\text{m}^3$)を取り出し、垂直型四軸自動回折計(BL-10A, PF)での X 線回折実験に用いた。圧力発生には、Merrill-Bassett 型ダイヤモンドアンビルセル使用し、ガスケットには SUS301 を、圧力媒体にはメタノール・エタノール 4:1 混合溶液を、圧力マーカーにはルビーを用いた。6 点の圧力で格子定数を精密化し、衛星反射や I 底心格子の消滅測を破る反射の有無を調べた。常圧

と相転移後の圧力(3.01, 3.72 GPa)で回折強度を収集し、SHELXL-97 を用いた水素席以外の構造解析を行った。常圧及び 3.01 GPa での構造モデルでは、異方性温度因子を適用した。

3、結果と考察

3.01 GPa 以上の圧力では、 I 底心格子の消滅測を破る反射が、衛星反射(b^* 方向に約 8 倍周期)を伴って出現する。SBU の回転角に対応して強度の上昇する主反射と比べ、衛星反射の強度の圧力依存性は小さい。主反射のみによる構造解析から得られた、3.01 GPa における異方性温度因子に注目すると、SBU 同士を接合する酸素席では SBU の回転方向の成分が、 SiO_4 四面体 2 個を繋ぐ酸素席では x 成分が、常圧時に比べて増大する。従って、異極鉱高圧相の超周期構造は、SBU 内部の多面体の結合角、特に Si-O-Si 角が b 軸方向に沿って蛇行することで生じると考えられる(図 1b)。

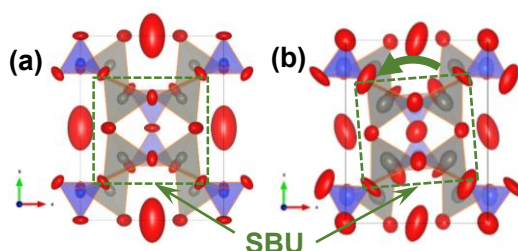


図 1. (a)常圧と(b)3.01 GPa における構造モデル [青:Si, 灰:Zn, 赤:O]

Keywords: Hemimorphite, Pressure-induced phase transition, Secondary building unit, Satellite reflection

*Corresponding author: keitaro.okamoto.p3@dc.tohoku.ac.jp

Loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O₃ の結晶化学 :

平均構造と局所構造について

北原銀河* (熊大・院自然), 吉朝朗 (熊大・院自然), 鳥羽瀬翼 (HPSTAR),
徳田誠 (東北大・金研), 杉山和正 (東北大・金研)

Crystal chemistry of loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O₃: on the average and local structures

Ginga Kitahara* (Kumamoto Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.), Tsubasa Tobase (HPSTAR),
Makoto Tokuda (Tohoku Univ.), Kazumasa Sugiyama (Tohoku Univ.)

The structures analyses on natural-occurring loparite (Na_{0.57}, REE_{0.31}, Ca_{0.07})(Ti_{0.75}, Nb_{0.25})O₃ were performed using single crystal X-ray diffraction and XAFS (X-ray absorption fine structure) experiments. The amount of local distortion at the B site is quite large. The local structure is shown to be lower than rhombohedral.

ペロブスカイト型構造 ABX₃ を有する鉱物は主に地球下部マントルの主要鉱物である。天然に産出するペロブスカイトグループ ABO₃ は、A サイト B サイトに様々な元素を置換占有する多成分系固溶体であり、主に 4 グループに分けられている。天然産 loparite: (Na, REE)TiO₃ の結晶構造については立方晶や正方晶が提案されているが、合成実験では菱面体晶も認められており [1,2]、欠陥を含めた化学組成や温度圧力条件の多様性等、詳細は知られていない。本研究では天然産 loparite 鉱物を対象に、XAFS 法による微量元素の局所構造解析や単結晶 X 線回折による平均構造の解析を行い、その両面から loparite の結晶構造について議論する。

試料として Russia, Kola 半島から採集された最大 10 mm の八面体 loparite 結晶を用いた。EDS 分析によってこの試料には A サイト

に Na(57%), REE(31%), Ca(7%)、B サイトに Ti(75%), Nb(25%) が固溶している。他の特徴的な微量元素として A サイトにはアクチノイド元素 Th、B サイトには Fe が固溶している。単結晶 X 線回折実験では、菱面体晶 *R-3c* 相(R1=0.0332)の loparite-R と正方晶 *I4/mcm* 相(R1=0.0485)の loparite-T といった 2 通りの構造解析が行えた。双晶がみられ、組成のばらつきは少ないが、空間群の異なる平均構造データが得られた。一方 XAFS 法を用いると B サイトに含有する Ti, Nb の K-edge XANES による B サイトの局所の歪み量はかなり大きい。局所構造を考慮すると、loparite は菱面体晶よりは正方晶相的である。

[1] R.H. Mitchell et al., *Can Mineral* **38**, 145-152. (2000)

[2] R.H. Mitchell et al., *Phys Chem Minerals* **27**, 583-589. (2000)

Keywords: loparite, XAFS, single crystal X-ray diffraction, local structure, average structure

*Corresponding author: 184d8157@st.kumamoto-u.ac.jp

Crystal structure change in the grossular–Si-free katoite solid solution: oxygen position splitting in katoite

Atsushi KYONO* and Shubhi ARORA

Division of Earth Evolution Sciences, University of Tsukuba

Single crystals of katoite hydrothermally synthesized were examined by single-crystal X-ray diffraction, EPMA, and Raman spectroscopic techniques. Chemical formulas of the katoite fall inside the miscibility gap proposed by Kyritsis et al. (2009). The systematic absences observed with the single-crystal X-ray diffraction were completely consistent with the cubic space group $Ia\bar{3}d$. In two katoites with chemical formulas, $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{0.57}(\text{H}_4\text{O}_4)_{2.43}$ and $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{0.69}(\text{H}_4\text{O}_4)_{2.31}$, O atom position was split into two independent crystallographic sites, O1 and O2; the O1 is coordinated to Si, whereas the O2 forms a tetrahedral interstice. The a lattice parameter monotonically decreased as increasing Si content. The coordination volume of T site decreased with Si incorporation into the T site. The variation lay on the straight lines between grossular and Si-free katoite solid solution. The coordination volume of CaO_8 dodecahedra also decreased with the Si incorporation into the T site because edges of the CaO_8 dodecahedron are shared with the adjacent TO_4 tetrahedra. These contractions lead to the monotonous decrease of the a lattice parameter. Volumes of AlO_6 octahedra, on the other hand, increased with the Si incorporation. There are no clear structural constraints resulting in the miscibility gap in the solid solution. The Raman band corresponding to the OH stretching vibration was observed at 3650 cm^{-1} , but with the substitution of Si for H a new Raman peak appeared at 3580 cm^{-1} (Fig. 1). The two Raman band positions remained unchanged with Si content. These results strongly suggest that there are two kinds of OH stretching vibration in the siliceous katoite. We therefore conclude that with Si substitution for H the O position is split into two inequivalent sites that correspond to SiO_4 and H_4O_4 tetrahedra (Fig. 2).

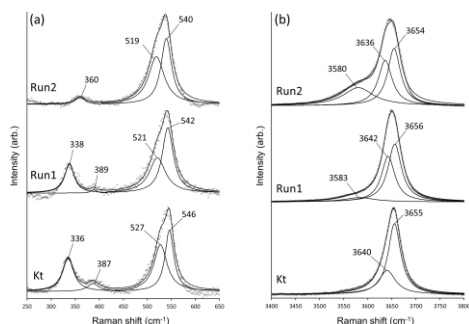


Fig. 1 Raman spectra of katoite (Runs 1 and 2) and Si-free katoite (Kt).

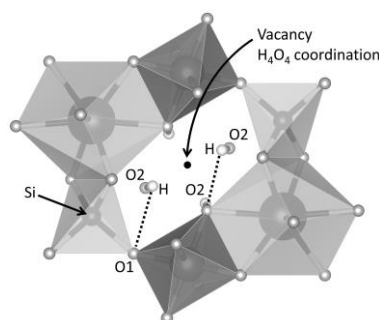


Fig. 2 Local structure around SiO_4 tetrahedron and H_4O_4 tetrahedral interstice.

Keywords: Hydrogrossular, Hydrogarnet substitution, Single-crystal X-ray diffraction, Raman spectroscopy

*Corresponding author: kyono@geol.tsukuba.ac.jp

メタミクト鉱物の熱処理について：フェルグソン石の場合

徳田誠* (東北大・金研), 吉朝朗 (熊大・理), 上原誠一郎 (九大・理),
宮脇律郎, 門馬綱一 (国立科博), 杉山和正 (東北大・金研)

Thermally treatment on metamict minerals: case of fergusonite

Makoto Tokuda, (IMR, Tohoku Univ.), Akira Yoshiasa (Kumamoto Univ.),

Seiichiro Uehara (Kyushu Univ.), Ritsuro Miyawaki, Koichi Momma (Nat'l. Mus. Nat. Sci.),

Kazumasa Sugiyama (IMR, Tohoku Univ.)

メタミクト (metamict) とは本来の結晶外形を保ったまま原子的構造が、再配列して他の原子的構造に変わる、という意味の造語である。X 線的に非晶質であるメタミクト鉱物の同定には、空气中で 1000 °C ほどで加熱した後、室温の粉末 X 線回折で同定するのが標準的手法とされてきた。注意しなければいけないのは、熱処理により結晶化した相がその鉱物本来の相と一致するとは限らないことである。

フェルグソン石 (Fergusonite) はメタミクト状態で産出することで代表的な鉱物の一つである。その構造研究のために熱処理による再結晶化が図られてきた。我々はメタミクト状態のフェルグソン石は加熱されることで、本来の構造に本当に回復しているのか、疑問に感じていた。最近、宮崎県大崩山から産したフェルグソン石は軽度のメタミクト状態であることが分かった。採取した結晶を Rigaku SuperNova X 線回折装置に搭載し、回折データを測定し、その構造精密化に成功した。

予備測定としてガンドルフィー法により結晶の粉末回折パターンを測定したところ、正方晶 (T 相) であると予測を立てた

(Figure 1)。しかし、実際の格子は単斜格子であり、その格子定数は $a = 5.2112(4)$, $b = 10.9487(4)$, $c = 5.1713(4)$ Å, $\beta = 90.9597(7)^\circ$, $a/c = 1.0077(4)$ となった。合成 YNbO_4 の M 相の軸率 $a/c = 1.044(2)$ と $\beta = 94.560(4)$ とは有意に異なる。メタミクト化によるブロードな粉末回折図形からでは T 相であると誤解しかねない単斜晶 (M 相) であると結論した。

同産地で別の結晶を 1000°C で熱処理した後、ガンドルフィー法で粉末回折パターンを得た(Fig. 1)。明らかに熱処理前後で回折図形は異なることが分かり、フェルグソン石は熱処理により、メタミクト化の情報が失われることが分かる。

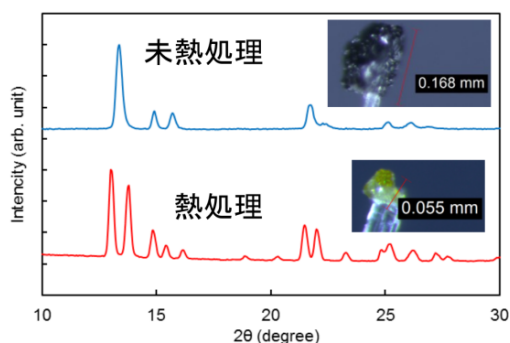


Figure 1. Powder X-ray diffraction patterns for thermally untreated (upper) and treated (lower) by Gandolif method (Mo $K\alpha$).

Key Words: Metamict, Fergusonite-(Y), Single-crystal X-ray diffraction

*Corresponding author: tokuda@imr.tohoku.ac.jp

ナミビア産ラブントソフ石の細孔内におけるイオン分布

中村友梨江, 杉山和正 (東北大・金研), 長瀬敏郎 (東北大・博物館)

Extra-framework sites of labuntsovite-Mn

from Aris Quarries, Aris, Windhoek, Khomas, Namibia

Yurie Nakamura*, Kazumasa Sugiyama (Tohoku Univ. IMR),

Toshiro Nagase (Tohoku Univ. Museum)

はじめに ラブントソフ石グループに属する鉱物は結晶構造中に細孔が存在するチタノシリケートであり、ゼオライトと同様に機能性材料としての利用が期待され研究がなされている。化学組成の幅が広く現在は 30 種の端成分が報告されているが、一般式は $A_4B_4C_4D_2(Ti, Nb)_8(Si_4O_{12})_4(OH, O)_8 \cdot nH_2O$ ($A = Na, K, \square, B = K, C = Ba, K, H_2O, \square, D = Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, \square$) で表され、単斜晶系(空間群 $C2/m, Cm$)または直方晶系(空間群 $Pbam$)の対称性を示す(Chukanov *et al.* 2002)。また一部のラブントソフ石では $I2/m$ の対称性を示すものが報告されており、このようなラブントソフ石の格子定数は c 軸の長さが 2 倍となっているほか、X 線回折強度に散漫散乱が観測されている。Armbruster *et al.* (2004) は $I2/m$ の対称性を示すラブントソフ石について Ba など細孔内イオンの秩序配列が 2 倍周期の超構造を形成すると議論した。一方 $C2/m$ の対称性を示すラブントソフ石については完全な無秩序型であるとしている。

今回、labuntsovite-Mn 端成分に近い組成をもつナミビア産ラブントソフ石の鉱物学的な記載からラブントソフ石における超構造の有無と化学組成の関係を議論する。

実験 X 線回折強度の測定には単結晶 X 線構造解析装置(Rigaku XtaLAB Synergy-S)、構造の精密化には SHELXL (Sheldrick, 2015)を使用した。

結果と考察 試料の化学組成は $Na_{3.25}K_{4.12}(Mn_{1.70}Fe_{0.30})(Ti_{6.99}Nb_{1.01})(Si_4O_{12})_4(OH, O)_8 \cdot 12H_2O$ である。単結晶 X 線回折実験において回折強度に散漫散乱は観測されなかった。強度分布は空間群 $C2/m$ の対称性を示し、格子定数は $a = 14.4109 \text{ \AA}, b = 13.9182 \text{ \AA}, c = 7.8214 \text{ \AA}, \beta = 117.043^\circ$ が得られた。

空間群 $C2/m$ の構造モデルで精密化するにあたり、二価の陽イオンが占有する D サイトに欠陥の存在が確認されなかったことと、ラブントソフ石グループにおける置換は結晶学的な制約により $(Mn, Fe, Mg, Zn)^D + 2H_2O^C \leftrightarrow \square^D + 2(Ba, K)^C$ で表されることから、C サイトは H_2O が 100% 占有するものとした。精密化の結果、Ti と Nb が占有する 2 つの八面体サイト M1, M2 において Nb の占有率はそれぞれ 7.0%, 18.4% となった。さらに K が占有する B サイトの分裂が観測され、B1, B2 サイトの占有率はそれぞれ 68.5%, 17.3% であった。B サイトの分裂には M2 サイトを優先的に占有する Nb の影響が考えられる。Armbruster *et al.* (2004) が示した超構造をもつためには D サイトに欠陥が存在する必要がある。今回の試料は D サイトが二価の陽イオンで 100% 占有されているために超構造をもたないと考えられる。したがって lemmenite-labuntsovite 固溶体の中間組成をもつラブントソフ石であれば超構造を持つ可能性が高いと考えている。

Keywords: labuntsovite, microporous titanosilicate

*Corresponding author: y_nakamura@imr.tohoku.ac.jp

菱沸石の高温単結晶 X 線構造解析： 脱水挙動の結晶学的研究

河田尚美*、藤原恵子、中塚晃彦(山口大・院創成)

High-temperature single-crystal X-ray diffraction study of chabazite: a crystallographic study on dehydration behavior

N. Kawata*, K. Fujiwara, A. Nakatsuka (Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.)

1. はじめに

菱沸石は天然ゼオライトの中でも高い蓄熱能力をもつため、ヒートポンプ用蓄熱材として期待されている。また、優れたイオン交換剤としても知られており、福島第一原発事故で生じた汚染水に含まれる放射性元素の除去剤としても活用されている。ゼオライトの蓄熱能力やイオン交換能力の大きさは、ゼオライトフレームワーク・水分子・交換性陽イオンとの間の相互作用が大きく関与していると考えられる。そのため、細孔内の水分子と交換性陽イオンの結晶学的配置を明らかにすることが重要である。特に、水分子とその近傍原子との相互作用の大きさを知るには、水分子の脱水挙動を調べるのが有効である。過去に我々は、単結晶 X 線構造解析から、菱沸石には室温で 5 つの水分子席 (OW1~OW5) と 4 つの交換性陽イオン席 (Ca1~Ca4) が存在することを報告したが、水分子の脱水挙動とそれに伴う構造変化についてはほとんど明らかにされていない。そこで本研究において、水分子の脱水挙動を調べるために、高温下における菱沸石の単結晶 X 線構造解析を行う。

2. 実験と解析

本研究では、静岡県小室産の天然菱沸石単結晶を用いた。単結晶 X 線回折実験のため、試料を直径 0.20 mm の球状に整形した。MoK α 線 ($\lambda = 0.71069 \text{ \AA}$) を用い、4 軸型 X 線回折計により $2^\circ \leq 2\theta \leq 100^\circ$ の領域で回折強度測定を行った。測定には窒素ガス吹付型高温装置

を用い、100 °C、200 °C、250 °C の各温度で回折強度測定を行った。得られた回折強度データに対して Lp 補正、吸収補正、消衰補正を行った。構造精密化には完全マトリックス最小二乗プログラム RADY を用いた。各温度における信頼度因子は、最終的に $R = 0.0374 \sim 0.0436$ 、 $wR = 0.0240 \sim 0.0294$ に達した。

3. 結果と考察

差フーリエ合成で得た電子密度ピークに水分子あるいは交換性陽イオンを割り当て、席占有率から求めた化学組成が化学分析値と一致するまで、これら電子密度ピークへの原子 assignment を変えながら、最小二乗法による構造精密化を繰り返し行った。その結果、100 °C において 4 つの水分子席 (OW1・OW2'・OW4) と 1 つの交換性陽イオン席 (Ca3)、200 °C と 250 °C においては 1 つの水分子席 (OW3) と 3 つの交換性陽イオン席 (Ca3・Ca4・Ca5) の存在を確認した。過去に報告された室温での結果 (Nakatsuka et al., 2007) を含めて、最終的に得た席占有率から、各 OW 席の水分子数と各 Ca 席の交換性陽イオン数の温度依存性を検討した。100 °C までには OW5 および OW3 分子は完全に脱離し、大部分の OW4 分子も脱離する。その後 200 °C までには、OW1、OW2 (OW2')、OW4 分子が完全に脱離するが、これらの一部は OW3 席に移動する。このような脱水挙動に伴って移動する交換性陽イオンの挙動も捕えることができた。

Keywords: zeolite, chabazite, high-temperature single-crystal X-ray diffraction, dehydration

*Corresponding author: b001we@yamaguchi-u.ac.jp

Oral presentation | R5: Extraterrestrial materials

📅 Fri. Sep 20, 2019 2:00 PM - 4:30 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 5:00 AM - 7:30 AM UTC | 🏢 Lecture 1b
Lecture

R5: Extraterrestrial materials

Chairperson: Shogo Tachibana, Megumi Matsumoto

[座長]

松本 恵 : R5-12~R5-16

橘 省吾 : R5-17~R5-21

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

[R5-12] Low-temperature thermal history of cumulate eucrites as inferred from tridymite polymorphs

*Haruka Ono¹, Atsushi Takenouchi², Takashi Mikouchi³, Akira Yamaguchi² (1. Tokyo Uni. Sci., 2. NIPR, 3. Tokyo Uni. Mus.)

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

[R5-13] Petrogenesis of silica polymorphs in eucrites

「発表賞エントリー」

*Rei Kanemaru¹, Akira Yamaguchi^{1,2}, Naoya Imae^{1,2}, Hirotsugu Nishido³ (1. SOKENDAI, 2. NIPR, 3. OUS)

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

[R5-14] The complex shock metamorphism history recorded in the Padvarninkai

*Masaaki Miyahara¹, Akira Yamaguchi², Eiji Ohtani³ (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. NIPR, 3. Tohoku Uni. Sci.)

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

[R5-15] Heating experiments of maskelynite in Zagami and EETA 79001 Martian meteorites: Implication for their shock metamorphism

*Risa Shikina¹ (1. Tokyo Uni. Sci.)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[R5-16] Microstructural observations of quartz from the basement rocks of the Chicxulub impact structure and shock pressure estimation

Riho Tani^{2,1}, *Naotaka Tomioka¹, Masahiro Kayama³, Chang Yu³, Hirotsugu Nishido⁴, Kaushik Das², Auriol Rae^{5,6}, Ludovic Ferrière⁷, Sean Gulick⁸, Joanna Morgan⁵, IODP-ICDP Expedition 364 Scientists (1. Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, 2. Hiroshima University, 3. University of Tokyo, 4. Okayama University of Science, 5. Imperial College London, 6. Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, 7. Natural History Museum Vienna, 8. University of Texas at Austin)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[R5-17] Laser-shock compression experiments of forsterite coupled with XFEL diffraction

*Takuo Okuchi¹, Narangoo Purevjav¹, Norimasa Ozaki², Yusuke Seto³, Toshinori Yabuuchi⁴ (1. Okayama Univ., 2. Osaka Univ., 3. Kobe Univ., 4. JASRI)

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

[R5-18] Inclusions within olivine in Esquel pallasite

*Terumi Ejima¹, Azumi Yoneyama¹, Masahide Akasaka², Yoshiaki Kon³, Takafumi Hirata⁴ (1. Shinshu Univ., 2. Shimane Univ., 3. AIST, 4. Univ. Tokyo)

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

[R5-19] Crystallization history of unusual petrological textures in the NWA 7203 angrite

「発表賞エントリー」

*Hideyuki Hayashi¹, Takashi Mikouchi², Martin Bizzarro³ (1. EPS, U. Tokyo, 2. UM, U. Tokyo, 3. U. Copenhagen)

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

[R5-20] Reproduction of oxygen fugacity of upper atmosphere based on artificial micrometeorites

*Hiroshi ISOBE Isobe¹ (1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University)

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

[R5-21] **Quenched indicator of carbon-bearing process: Extraterrestrial case**

*Yasunori Miura¹ (1. Post-Yamaguchi Uni.Sci., Uni. of Toronto)

集積岩ユークライト中トリディマイト多形が示す 低温領域での熱史について

大野 遼* (東大・院理), 竹之内 惇志 (極地研), 三河内 岳 (東大・
総研博), 山口 亮 (極地研)

Low-temperature thermal history of cumulate eucrites as inferred from tridymite polymorphs

Haruka Ono*(Univ. of Tokyo), Atsushi Takenouchi (NIPR), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo),
Akira Yamaguchi (NIPR)

はじめに：ユークライトは小惑星ベスタの地殻で形成されたと考えられている玄武岩質のエコンドライト隕石グループである[e.g., 1]。ユークライトは主に、集積岩・非集積岩の2つのサブグループに分けられることが多い。特に、集積岩ユークライトは輝石の離溶ラメラから冷却速度が求められるなど、ベスタ地殻形成過程の議論に広く用いられている[e.g., 2, 3]。しかし、これまで議論されてきた熱史は、輝石が示す温度領域（600～1000℃程度[4]）に限られている。本研究ではこの温度領域以下での熱史を議論するために、シリカ鉱物に着目した。シリカ鉱物は様々な温度圧力条件下で多くの多形を持ち、特にトリディマイトは400℃以下で6つの多形を持つことが知られている[5]。トリディマイト多形は主に六方晶系、直方晶系、単斜晶系、擬直方晶系の4つの晶系に分かれており、それらの間には複雑な相転移関係がある[5]。本研究では、トリディマイトが低温での熱史を議論する上で有用であると考え、集積岩ユークライトに含まれるトリディマイト多形を用いて、輝石が示す温度領域を含めた広い温度範囲での熱史の議論を試みた。

結果：試料は Moore County、Yamato (Y) 980433、Moama の3つの集積岩ユークライト薄片試料を用いた。3つの試料中全てに単斜晶系トリディマイトが存在していた。中でも Moore County に含まれるものは約4mmと最も大きいものであった。Y 980433の単斜晶系トリディマイトには他の試料と比べて割れ目が多く含まれていた。Moama中の単斜晶系トリディマイトには、他の試料には見られなかったラメラ状組織をした直方晶系トリデ

イマイトが含まれていた。ラメラ状直方晶系トリディマイトはホストである単斜晶系トリディマイトに比べて割れ目が多く含まれていた。

考察と結論：直方晶系トリディマイトは400～210℃で安定領域を持つのに対して、単斜晶系トリディマイトは160～110℃に安定領域があることが知られている[5]。さらに、これまでの我々の研究から、集積岩ユークライトよりも速く冷却された非集積岩ユークライト中の玄武岩質岩片中には直方晶系トリディマイトが存在していることを見出している[6]。これらのことから、Moama中に存在した直方晶系トリディマイトは、冷却過程で一部に直方晶系を残したまま単斜晶系に部分的に相転移して形成されたと考えられる。そのため、Moamaは単斜晶系トリディマイトのみを持つ他の2つの試料よりも速く冷却された可能性が高い。しかし、先行研究で輝石より見積もられている冷却速度は Moore County より Moama の方が遅い。そのため、Moore County と Moama の冷却速度が400℃に至るまでに逆転した可能性があることが明らかになった。

以上のように、本研究からトリディマイトは輝石が示す温度領域以下の温度での熱史を議論する上で有用であることが示された。

参考文献：[1] Binzel R. P. and Xu S. (1993) *Science* 260:186-191. [2] Miyamoto M. and Takeda H. (1994) *EPSL* 122:343-349. [3] Harlow G. E. et al. (1979) *EPSL* 43:173-181. [4] Lindsley D. H. (1983) *Am. Min.* 68:477-493. [5] Graetsch H. and Flörke O. W. (1991) *Zeit. Krist.* 195:31-48. [6] Ono H. et al. (2016) 7th NIPR Symp. Polar Sci.

Keywords: Eucrite, Silica, Thermal history, Tridymite, Low-temperature

*Corresponding author: o-haruka@eps.s.u-tokyo.ac.jp

ユークライト隕石に産するシリカ多形の成因

金丸 礼(総研大), 山口 亮(極地研), 今榮 直也(極地研), 西戸 裕嗣(岡理大)

Petrogenesis of silica polymorphs in eucrites

R. Kanemaru* (SOKENDAI), A. Yamaguchi (NIPR), N. Imae (NIPR) and H. Nishido (OUS)

ユークライトは、母天体上(Vesta[1])で熱・衝撃変成作用・メタソマティズムなど複雑な2次的プロセスを経験している。従来、ユークライトの変成史の理解のため岩石・鉱物学的特徴に基づく熱変成度[2]や衝撃変成度[3]の推定が行われてきた。本研究では熱・衝撃変成度に加え、シリカ鉱物に注目した。シリカ鉱物は多くの多形を持ち、結晶化時や2次的プロセスの情報を保持していると考えられる。温度圧力条件から、ユークライトメルトから結晶化する初生シリカ鉱物相はトリディーマイトとなること期待されるが、実際には様々な相が観察される。本研究では、光学顕微鏡、FE-SEM、ルミノスコープ、顕微ラマン分光装置を用いて16個のユークライト[3]のシリカ鉱物の相同定をした。

本研究では、ユークライトにおけるシリカ鉱物の産状をトリディーマイトと石英の量比に基づき、Si-I(トリディーマイト:>90%)、Si-II(トリディーマイトと石英の共存)、Si-III(石英:>90%)に大別した。Si-Iは、集積岩ユークライトなど固化時に徐冷したもの、また、熱変成度が高い玄武岩質ユークライトに多く、Si-IIIは、熱変成度の低い玄武岩質ユークライトに多く観察された。これらユークライトに産するトリディーマイトは、粗粒で短冊状の外形を示す。石英は多孔質で不透明鉱物、リン酸塩鉱物などと共生する。

Si-Iのトリディーマイトは、メソスタシスと共生しない。溶融実験から、ソリダス温度付近の加熱により、メソスタシスが優先的に溶融することが知られている[4]。つまり、これらユークライトは高温熱変成作用過程により、トリディーマイトの安定領域から徐冷したことが示唆される。急冷されたユークライトマグマから晶出するシリカ鉱物は、クリストバライトである[4]。クリストバライト(~2.36 g/cm³)から相転移した石英(2.65 g/cm³)は、密度差を解消するため微小なクラックを多く含む場合がある[5]。つまり、Si-II, IIIの多孔質な石英は、ユークライトマグマの急冷により結晶化したクリストバライトが熱変成作用により再結晶化したことが示唆される。Si-IIのトリディーマイトは自形であり、多孔質の石英に囲まれていることから、トリディーマイトの結晶化中に急冷・再加熱により、Si-IIIと同様の石英が形成されたことが示唆される。

参考文献: [1] Binzel R. P. and Xu S. 1993, *Science*, 260, 5105. [2] Takeda H. and Graham A. 1991, *Meteoritics*, 26, 129-134. [3] Kanemaru R. et al. 2019, 60th LPSC #2132. [4] Yamaguchi A. et al. 2013, *Earth Planet. Sci. Lett* 368, 101-109. [5] Seddio S. M. et al., 2015, *Amer. Mineral*, 100, 1533-1543.

Keywords: Eucrite, Silica polymorphs

Corresponding author: kanemaru.rei@nipr.ac.jp

Padvarninkai に記録された複雑な衝撃変成履歴

宮原正明（広島大・理）*, 山口亮（極地研）, 大谷栄治（東北大・理）

The complex shock metamorphism history recorded in the Padvarninkai

Masaaki Miyahara (Hiroshima Uni.)*, Akira Yamaguchi (NIPR), Eiji Ohtani (Tohoku Uni.)

We investigated the shock-induced melting textures and high-pressure polymorphs therein in the eucrites Padvarninkai with FE-SEM and Raman spectroscopy. The shock-melt veins included coesite, Ca-pyroxene and garnet-like minerals as high-pressure polymorphs. Both the progressive and retrograde phase transitions occurred in the shock-melt veins, suggesting that the shock metamorphism recorded in Padvarninkai is not simple.

1. はじめに

HED 隕石は小惑星 Vesta の破片と見なされている[1]。しかし、HEDs 隕石の起源と地球への飛来プロセスに関しては議論が続いている[2]。HED 隕石の内、ユークライトは Vesta の表層を構成していた岩石と考えられている。Yamaguchi et al. (1993) [3]によれば、Padvarninkai は最も強い衝撃変成作用を記録しているユークライトである。しかし、Padvarninkai の衝撃変成作用の痕跡はこれまで詳しく調べられてこなかった。そこで、本研究では、Padvarninkai の衝撃溶融組織とそこに生成する高圧相を詳細に調査した。

2. 実験試料と実験手法

2 枚の Padvarninkai の岩石薄片を研究に利用した。1 枚は衝撃溶融組織を持たない母岩、もう一枚は幅広い衝撃溶融組織を含む。溶融組織と高圧相の観察・分析には光学顕微鏡、走査型電子顕微鏡（FE-SEM）、レーザーラマン分光装置を用いた。

3. 結果と考察

Padvarninkai の母岩部分はオフィティック組織を持つ。主な構成鉱物は単斜輝石（普通輝石—単斜鉄珪輝石）と灰長石、他に少量のイルメナイト、クロマイト、トロイライト、シリカ鉱物（トリディマイト、クリス

トバライト、石英）及びリン酸鉱物も含まれていた。

母岩中の大部分の灰長石はアモルファス化していた。衝撃溶融脈に接している灰長石の内部には多数の微結晶が生成していた。小球状に集合した微結晶もあった。ラマンスペクトルに基づくと、この微結晶は Ca 輝石に類似する。一部の小球状微結晶集合体はその晶癖を保ったままアモルファス化していた。母岩中のシリカ鉱物はアモルファス化していたものもあった。衝撃溶融脈中のシリカ相はコーサイト、シリカガラス或いは石英であった。一部の石英粒子はコーサイト粒子或いはシリカガラスを取り囲むように生成していた。衝撃溶融脈の基質部分には単斜輝石とガーネット様鉱物が生成していた。衝撃溶融脈中では、低圧相から高圧相だけでなく、その逆の転移を示唆するものがあり、Padvarninkai に記録された衝撃変成履歴が複雑であることを示している。

引用文献

[1] M.C. De Sanctis et al., 2012, *Science* 336, 697–700. [2] A. Yamaguchi et al., 2002, *Science* 296, 334–336. [3] A. Yamaguchi et al., 1993, *Meteoritics* 28, 462–463.

Keywords: Eucrites, Silica, Plagioclase, high-pressure polymorph

Corresponding author: miyahara@hiroshima-u.ac.jp

Zagami および EETA 79001 火星隕石中のマスケリナイト 加熱実験から探る衝撃変成過程

識名 里沙* (東大・院理), 三河内 岳 (東大・総研博)

Heating experiments of maskelynite in Zagami and EETA 79001 Martian meteorites: Implication for their shock metamorphism

Risa Shikina*(Univ. of Tokyo), Takashi Mikouchi (Univ. of Tokyo)

はじめに：マスケリナイトは、強い衝撃によって斜長石が固相状態でガラス化したものであり、シャーゴットイト火星隕石に普遍的に見られる[1]。マスケリナイトは加熱により容易に結晶質斜長石に戻ることが知られており、その再結晶化度は衝撃圧に依存する[2]。[2]は、衝撃実験によって得られたマスケリナイトを加熱したものであるが、天然とは衝撃エネルギーが著しく異なることから[3]、天然の衝撃変成試料を用いた再結晶化実験では、実験室の結果とは異なる傾向を示す可能性がある。本研究では、異なる衝撃変成度を経験した2つのシャーゴットイト (Zagami と EETA 79001) のマスケリナイト加熱実験を行い、再結晶化度の評価を試みた。

加熱実験：Zagami と EETA 79001 の小片 (約 5 mm) を、CO₂-H₂ ガス混合炉中 (log₁₀O₂=IW+2) で 900°C (1, 4, 8, 12, 24, 168 時間)、1000°C (1 時間) および 800°C (24, 168 時間) で加熱した。薄片試料の作成後、光学顕微鏡で観察し、斜長石再結晶度を評価した。鉱物組成は EPMA (JEOL JXA8900L) で分析し、元素マップから再結晶斜長石の割合を求めた。

結果：[4]の報告のように、Zagami は 800°C、24 時間および 168 時間、900°C で 1 時間加熱した実験では再結晶の明確な証拠を示さなかったが、900°C、4 時間以上加熱した場合には繊維状の結晶質斜長石が見られた。900°C で 24 時間と 168 時間加熱されたマスケリナイトは、ほとんど完全に多結晶質の斜長石に変換された。900°C で 4 時間加熱した試料と 1000°C で 1 時間加熱したマスケリナイトは、繊維状結晶質斜長石が元の粒子の割れ目と縁に沿ってのみ観察された。EPMA 分析から、Na と K が再結晶化領域で乏しくなり、Ca に富んでいることが分かった。900°C で 24 時間

および 168 時間加熱されたマスケリナイトには、Na と K に富むガラス領域が存在し (Na₂O: ~6.5 wt%, K₂O: ~2.5 wt%)、再結晶がまだ起こっていない場所に Na と K が集中することを示唆する。Zagami とは異なり、EETA 79001 は 800°C、24 時間および 900°C、1 時間加熱した実験で既に再結晶を示し、900°C で加熱したすべての試料で繊維状の結晶質斜長石が観察された。1000°C で 1 時間加熱したマスケリナイトはほぼ完全に再結晶化し、800°C で 168 時間加熱したマスケリナイトは 1 粒子中の ~33% で再結晶化が確認された。

考察と結論：マスケリナイトの再結晶度は、斜長石の元々の衝撃度と関係があると報告されており、同じ加熱時間の試料では衝撃度が高いほど再結晶化度が低いことが示されている[2]。Zagami と EETA 79001 の衝撃圧は、それぞれ 29.5±0.5 GPa と 39±4 GPa と推定されているが[1]、本実験では衝撃度の高い EETA 79001 の再結晶化度が高く、[2]とは異なる傾向を示した。これは、より強い衝撃を受けた EETA 79001 の方が、マスケリナイト化後に乱された原子構造が残留熱により修復され、再結晶化が起こりやすかったためと考えられる。また実験全体を通して、天然試料の加熱実験では、[2]よりも高い再結晶化度を示した。これも、天然と実験室実験との衝撃エネルギーの差異により、残留熱の違いによって引き起こされたものと考えられる[5]。

参考文献：[1] Fritz et al. (2011) MAPS 40:1393-1411. [2] Ostertag & Stöffler (1982) Proc. 13th LPSC: A457-A463. [3] Tomeoka et al. (1999) GCA 63:3683-3703. [4] Mikouchi et al. (2002) MAPS 37:Suppl. A100. [5] Takenouchi et al. (2017) MAPS 52:2491-2504.

Keywords: Shergottite, Maskelynite, Recrystallization, Residual heat

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

チクシュルーブ隕石孔の基盤岩石英の微細組織

谷理帆^{1,2}, 富岡尚敬², 鹿山雅裕³, 常昱³, 西戸裕嗣⁴, Das Kaushik¹, Auriol Rae^{5,6}, Ludovic Ferrière⁷, Sean Gulick⁸, Joanna Morgan⁵, IODP-ICDP expedition 364 scientists

(¹広島大学, ²JAMSTEC, ³東京大学, ⁴岡山理科大学, ⁵インペリアル・カレッジ・ロンドン, ⁶アルベルト・ルードヴィヒ大, ⁷ウィーン自然史博物館, ⁸テキサス大学)

Microstructural observations of quartz from the basement rocks of the Chicxulub impact structure and shock pressure estimation

Riho Tani^{1,2}, Naotaka Tomioka^{2*}, Masahiro Kayama³, Yu Chang³, Hirotugu Nishido⁴, Kaushik Das¹, Auriol Rae^{5,6}, Ludovic Ferrière⁷, Sean Gulick⁸, Joanna Morgan⁵ and the IODP-ICDP Expedition 364 scientists (¹Hiroshima University, ²JAMSTEC, ³University of Tokyo, ⁴Okayama University of Science, ⁵Imperial College London, ⁶Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, ⁷Natural History Museum Vienna, ⁸University of Texas at Austin)

The Chicxulub impact structure, which is an only well-preserved peak-ring crater on Earth, was drilled by the joint IODP-ICDP Expedition 364 in 2016. A continuous core was successfully recovered from the peak ring between depths of 505.7–1334.7 mbsf [1]. Our study aims at evaluating a newly developed shock barometry method and to characterize shock effects in quartz from the basement granitic rocks (747.0–1334.7 mbsf). We have determined shock pressures recorded by each quartz grain from the basement rocks using the cathodoluminescence (CL) spectroscopy method, knowing that a part of blue emission band is caused by shock-induced defect centers and that its intensity drastically increases with increasing shock pressure. Estimated shock pressures are almost constant throughout the drilling depth in the range of 15–25 GPa. The results are in relatively good agreement with those determined by conventional universal stage method using PDFs orientations in shocked quartz [2].

TEM observations show that shocked quartz grains have dislocations, subgrain boundaries, and planar deformation features (PDFs) oriented parallel to (0001), {10-11}, and {10-13}. These PDF orientations, based on experimentally shocked single quartz grains, are typically formed at pressures below ~20 GPa [3]. Most of the investigated PDFs are not anymore made of amorphous silica but recrystallized quartz, associated with a high density of dislocations and voids. The decorated PDFs form as a result of post-impact hydrothermal alteration. It is known that hydrothermal quartz shows very weak blue CL intensity [4]. However, the presence of hydrothermally recrystallized PDFs does not affect shock pressure determination of quartz from the basement rocks probably due to their small volume fraction within the CL measurement area (35 x 45 μm²). A quartz grain experienced a shock pressure of ~20 GPa, estimated based on CL measurements, showed superlattice reflections of quartz, corresponding to 3-fold periodicity of reflections along [121]*_{Qtz} in the vicinity of PDFs. The similar superstructure of quartz was previously reported in recovered quartz samples after experimental compression above 21 GPa [5]. Therefore, the crystal structure is also supporting evidence for shock pressure generation of ~20 GPa.

References: [1] Morgan et al. (2016) *Science*, 354, 878–882. [2] Rae et al. (2017) *LPSC*, 1934.pdf. [3] Langenhorst and Deutsch (1994) *Earth Planet. Sci. Lett.*, 125, 407–420. [4] Richter et al. (2003) *Mineral. Petrol.*, 79, 127–166. [5] Kingma et al. (1993) *Phys. Rev. Lett.* 70, 3927–3930.

Keywords: Chicxulub impact crater, drilling core samples, cathodoluminescence, quartz, TEM

*Corresponding author: tomioka@jamstec.go.jp

フォルステライト単結晶のレーザー衝撃圧縮その場 X 線回折実験

奥地 拓生¹, プレジャブ ナランゴ¹, 尾崎 典雅², 瀬戸 雄介³, 藪内 俊毅⁴
(¹岡山大学惑星研, ²大阪大院工, ³神戸大院理, ⁴JASRI)

Laser-shock compression experiments of forsterite coupled with XFEL diffraction

Takuo Okuchi^{*1}, Purevjav Narangoo¹, Norimasa Ozaki², Yusuke Seto³ and Toshinori Yabuuchi⁴
(¹Okayama Univ., ²Osaka Univ., ³Kobe Univ., ⁴JASRI)

Primitive meteorites often show features of shock metamorphism, including occurrences of dense polymorphs of major mineral phases. By previous transmission electron microscopy studies, it was demonstrated that olivine (α - Mg_2SiO_4) often had transformed into its denser polymorphs such as wadsleyite (β - Mg_2SiO_4) and ringwoodite (γ - Mg_2SiO_4), as well as a recently-discovered new structure (ϵ - Mg_2SiO_4 : Tomioka and Okuchi, Sci. Rep. 2017). The impact events that produced these polymorphs played essential roles in the history of early solar system evolution. Here we tried to reproduce such a dynamic transformation process starting from forsterite olivine single crystals by using very strong laser beam and x-ray free electron laser (XFEL) beam in combination at SACLA, SPring-8, Japan.

The transformation process was analyzed with sub-nanosecond time resolution by ultrafast single-crystal diffraction scheme using XFEL (Fig). A series of synthetic α - Mg_2SiO_4 single crystal plates with 50 μm in thickness were separately compressed along its a-axis by irradiation of strong laser beam with 532 nm wavelength and with 4 nanoseconds of pulse width, that was focused into ~ 200 μm diameter on target. The transforming structures were analyzed at variable delay times by using femtosecond XFEL pulse, which was focused into even smaller dimension where the strongest shock wave was propagating.

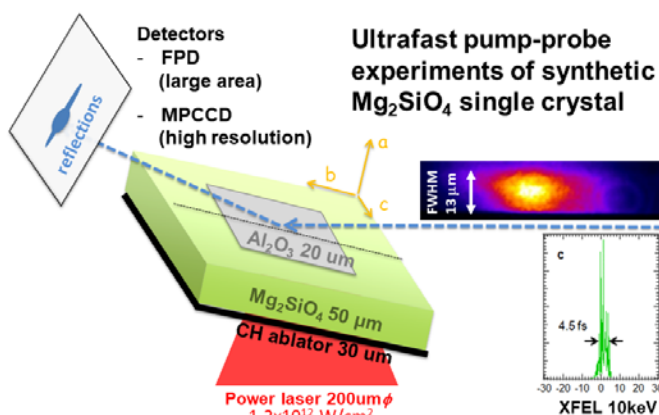


Fig. Experimental Setup

By analyzing the motion of Bragg reflection coming from hexagonal close-packed oxygen layer (200) of α - Mg_2SiO_4 , we firstly observed propagation of decaying elastic wave, and secondly observed decaying plastic wave. We then discovered an ultrafast transformation process toward cubic close-packed oxygen layer structure, which is possibly related to γ - Mg_2SiO_4 . The transformation had completed only within few nanoseconds, which was not expected to occur during shock metamorphism of meteorites. It can be a shear-induced fast lattice slipping proceeding without any atomic diffusion process. We conclude that formation processes and environments of some of dense Mg_2SiO_4 polymorphs in heavily shocked meteorites are needed to be reconsidered to involve this fast process.

Esquel パラサイト隕石中のかんらん石に含まれる包有物

江島輝美 (信州大学)、米山安澄 (信州大学)、赤坂正秀 (島根大学)、
昆慶明 (産総研)、平田岳史 (東大院理)

Inclusions within olivine in Esquel pallasite

Terumi Ejima (Shinshu Univ.), Azumi Yoneyama (Shinshu Univ.), Yoshiaki Kon (AIST), Masahide Akasaka (Shimane Univ.) and Takafumi Hirata (Univ. Tokyo)

Inclusions within olivine in an Esquel pallasite of the Main group pallasite was investigated using electron microprobe analysis and Raman spectroscopy. Esquel pallasite consists mainly of olivine, Ni-Fe metal, and aggregates of fine minerals. The average Fo content of olivine is 88.3. The inclusions within olivine crystals occur as droplets, grains of irregular form and tubular form. The droplets inclusions consist of fine Ni-Fe metal, troilite, olivine and cristobalite, or single phases of troilite, Ni-Fe metal and stanfieldite. Irregular form inclusions are chromite or aggregates of chromite + troilite + enstatite and/or cristobalite. The tubular inclusions consist of unidentified Ca-Cr-Si-rich phase.

パラサイト隕石中のかんらん石の包有物は、隕石の形成環境や履歴を明らかにするために注目されてきた。Esquel パラサイト隕石のかんらん石中の包有物に関しては、トロイライト、Fe-Ni 合金、クロマイト、リン酸塩鉱物が報告されている (Buseck 1977; Desrousseaux et al. 1997)。本研究では、Esquel 隕石のかんらん石の包有物中に先行研究で未報告の鉱物を認めたため、包有物構成鉱物の同定、記載、化学組成分析を行い、これらの形成過程について考察した。

鉱物の観察、組成分析、同定には、フィールドエミッションタイプ電子線微小部分分析装置およびラマン分光分析装置を用いた。

本研究で用いた Esquel 隕石試料 (2.5×2.5×0.15 cm) は、主にかんらん石および Fe-Ni 合金からなり、まれに Fe-Ni 合金およびトロイライトなどからなる微細な鉱物の集合体を含む。かんらん石は黄緑色で、縁部は茶褐色～黒色を呈する。平均 Fo 含有量は 88.3 mol.%である。かんらん石には、数 μm～1mm の滴下状、不定形、チューブ状の包有物が存在する。滴下状の包有物は、Ni-Fe 合金+トロイライト+かんらん石+クリストバライト

の集合体から構成されるものや、トロイライト、Ni-Fe 合金、スタンフィエルダイトの単相のものがある。まれに、クロマイト、エンスタタイト、シュライバーサイトの集合体のものがある。不定形の包有物には、クロマイト単相のものやクロマイト+トロイライト+エンスタタイト+クリストバライトの集合体のものがある。滴下状や不定形の包有物は、割れ目に沿って点在する。チューブ状のものは融溶状の産状で、短径 1μm×長さ数十 μm、顕微鏡下では褐色である。元素濃度分布では、母相のかんらん石より Ca、Cr、Si の含有量が高い。

包有物に含まれるかんらん石粒子は、母相のかんらん石の組成とほぼ同じである。一方、クロマイトは、かんらん石と Fe-Ni 合金の間に存在する微細な鉱物集合体中のもの、かんらん石の包有物の単相のもの、クロマイト+トロイライト+エンスタタイト+クリストバライトの集合体を構成しているもの、では組成が異なる。

包有物に含まれるクロマイトの組成の違いと包有物の産状から、Esquel 隕石は複数の形成時期の異なる包有物を形成するイベントを経験していると結論される。

Keywords: Olivine, Pallasite, FE-EPMA, Raman, Esquel

*Corresponding author: tejima@shinshu-u.ac.jp

NWA 7203 アングライトの特異な岩石組織の結晶化過程

林秀幸* (東大・院理), 三河内岳 (東大・総研博), Martin Bizzarro (コペンハーゲン大)

Crystallization history of unusual petrological textures in the NWA 7203 angrite

Hideyuki Hayashi* (U. Tokyo), Takashi Mikouchi (U. Tokyo), Martin Bizzarro (U. Copenhagen)

はじめに: アングライトは太陽系最古の原始惑星地殻由来隕石の一種で、アルカリ元素に枯渇し、難揮発性元素に富む化学組成から、特異な鉱物組み合わせを示す (例えば Keil, 2012)。アングライトは NWA 1670 と NWA 7203 の例外を除き、衝撃変成組織を示さないため、広くタイムアンカーとして利用されている (Scott+, 2011; Hayashi+, 2018)。我々の過去の研究において、NWA 7203 の衝撃変成組織を明らかにし、この試料がアングライト母天体の進化史を解明する上で重要であることを報告した (Hayashi+, 2018)。NWA 7203 は急冷組織を示すアングライト隕石であり、粒子サイズが大きく変化する特異な岩石組織を示すが (Mikouchi+, 2012)、詳しい結晶化過程は明らかになっていない。そこで本研究では、詳細な鉱物学的研究により、NWA 7203 の結晶化過程の解明を目的とした。

試料と手法: NWA 7203 薄片試料を光学顕微鏡及び FE-SEM で観察し、化学組成分析は FE-EPMA (JEOL, JXA-8530F) を用いた。

結果: NWA 7203 は主にカンラン石、灰長石及び輝石から成る。粒子サイズは $1\ \mu\text{m}$ 程度から $100\ \mu\text{m}$ 以上に大きく変化する。細粒部では、灰長石が伸長し、その間をカンラン石及び輝石が埋めている。粗粒部では、カンラン石と灰長石が樹枝状共晶を成し、その間を輝石が埋めている。粒子サイズは細粒～粗粒部に連続的に変化している。また、細粒部は $\sim 1\ \text{cm}$ の球状集合体で、樹枝状組織が放射状に細粒部から粗粒部に広がっている。バルク組成は、各種元素の MAP 分析からモード組成を求め、各鉱物種の平均組成を掛けて見積もった。その結果、粗粒部 ($\text{Mg}\# = 36$) は、細粒部 ($\text{Mg}\# = 34$) に比べ、わずかに Mg に富み Fe に乏しい組成であった。ただし、組成差はわずかで、誤差の範囲内でバルク組成は一致している可能性も否定できない。

カンラン石は粗粒部では $\text{Fo}_{59.0}$ であり、細粒部

では $\text{Fo}_{54.4}$ であった。平均組成を考えると、粗粒部のカンラン石は、細粒部のものより、Mg に富んでいる。これは、バルク組成の結果と調和的である。一方で輝石は、粗粒部においては $\text{Mg}\# = 0-44$ 、細粒部では $\text{Mg}\# = 24-50$ であった。平均組成を考えると、輝石は細粒部のものの方は、粗粒部のものよりも、Mg に富んでおり、カンラン石と逆の結果である。

細粒部分にのみ、周辺のカンラン石よりも Mg に富んだカンラン石が見られた ($\text{Fo}_{\leq 64}$)。これらのカンラン石は、バルク組成と平衡なカンラン石 $\text{Fo}\#$ より Mg に富んでいることから、外来結晶と考えられる。このカンラン石を核にし、灰長石が成長している様子が見られた。また、 Fo_{64} の外来結晶は、薄片内で最も Mg に富んだカンラン石であり、光学顕微鏡観察により単結晶であることが分かった。またこのカンラン石を核に、カンラン石と灰長石の樹枝状の共晶が成長していた。

議論と結論: 本研究から、NWA 7203 に初めてカンラン石外来結晶が見出された。今まで急冷組織を示すアングライト隕石に知られていたカンラン石外来結晶とは、Cr 含有量が少ない点 ($0.1\ \text{wt}\%$ 以下) や、 $\text{Fo}\#$ が最大 64 と低い点 (例えば NWA 1670 の外来結晶は Fo_{96} が存在)、カンラン石と灰長石の樹枝状共晶が外来結晶を核に成長している点などが異なる。

本研究から NWA 7203 の結晶化過程は次のように考えられる。まずカンラン石外来結晶を核に、細粒部が結晶化した。次に、周囲のメルト組成が Mg に富むよう変化し、粗粒部が結晶化した。メルト組成の Mg 富化としては、例えばマグマ混合などの可能性が考えられる。また、バルク組成が細粒部と粗粒部で同じだったならば、実際にはメルト組成は変化せず、NWA 7203 の組織が形成された可能性も残されている。その場合、細粒部と粗粒部の組織の違いは、冷却速度の鈍化により起こされた可能性が考えられる。

Keywords: NWA 7203, Angrite, Crystallization history, Xenocryst

*Corresponding author: h.hayashi@eps.s.u-tokyo.ac.jp

人工微小隕石作成実験による高層大気酸素分圧条件の再現

磯部博志* (熊本大)

Reproduction of oxygen fugacity of upper atmosphere based on artificial micrometeorites

Hiroshi Isobe* (Kumamoto Univ.)

Micrometeorites are the most abundant planetary materials accumulating to the Earth. Melted micrometeorites can record fO_2 of upper atmosphere. Magnetite crystals occur in artificial micrometeorites produced with fO_2 lower than FMQ buffer curve. Oxidation of micrometeorites may be controlled by accumulated interaction with oxygen molecules in the heating path of the meteorites.

定常的に地球に落下する隕石物質では、直径 0.1mm 前後の微粒子が最大の質量フラックスを持つ。それら微粒子は、高層大気突入時に高度 80km 付近を中心に強い加熱を受けて熔融し、その後の急冷によって熔融微小隕石と呼ばれる球粒となる。微小隕石中の鉄を含む相の酸化状態は、加熱時の酸素分圧条件によって影響を受けると考えられている。

現在の地球高層大気は高度約 100km までよく攪拌されており、地表とほぼ同じ組成を持つ。従って、酸素を約 21%の体積比で含む現在の高層大気の酸素分圧は高度に依存した大気圧によって決まっていると考えられ、高度 80km では $\log(fO_2)$ は約 -5.7 となる。太古代における地球大気の酸素量は様々な地質試料を用いて議論されている。なかでも、現世から太古代に至る海洋性堆積物中に見いだされる微小隕石粒子は、地球環境の変遷を解析する指標となる可能性が指摘されている (Tomkins et al., 2016)。

本研究では、高温炉中で微粒子を自由落下させる実験系 (Isobe and Gondo, 2013) を用いた熔融急冷実験の結果をもとに、鉄の酸化挙動と fO_2 条件の関係について検討した。試料は、鉄隕石試料および FeS 試薬から作成した

径約 100 μ m の不定形粒子である。試料粒子はおよそ 2 秒以内に最高温度の約 1600°C に達した後急冷される。 fO_2 は、FMQ バッファカーブを挟んで、最大 ± 2.5 log unit となるよう、 H_2/CO_2 混合ガスによって実験ごとに制御した。実験生成物は、鉄鉱物相に注目して組織および組成を解析した。

鉄隕石、硫化鉄由来の試料を用いた実験生成物ともに、 fO_2 の高い実験ほど多量の酸化鉄が形成した。また、硫化鉄試料においてはメルト相が O に富む組成となった。一方、FMQ バッファよりも低い、最も低い fO_2 を設定した実験においても一部の粒子には酸化鉄が生じ、磁鉄鉱の急冷結晶が形成しているものも見られた。

本実験のような、 H_2/CO_2 混合ガスを用いた系においては、温度に応じて H_2 , CO_2 , CO , H_2O 比が決まり、それらと平衡な fO_2 が実現する。本実験条件においては O_2 のモル比は CO_2 および CO と比較すると極めて小さいため、試料の酸化還元挙動は主に CO_2 および CO 分子との反応によって規定されると思われる。微小隕石形成過程においては、熔融時の酸素分子との衝突頻度が鉄の酸化挙動を規定している可能性がある。

Keywords: micro meteorite, oxygen fugacity, atmospheric heating, troilite, iron meteorite

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

急冷指標の炭素含有固化過程：地球外生成物

三浦保範（元山口大）

Quenched indicator of carbon-bearing process: Extraterrestrial case

Yasunori MIURA (Post Yamaguchi Univ.)

Carbon-bearing grains called as quenched indicator of extraterrestrial rocks are required process applied for the accumulation of carbonaceous chondrites and carbon contents. The presence of quenched carbon-bearing grains remained in the primordial extraterrestrial meteorites indicates that the seawater fluid was not related totally.

はじめに：地球の三圏の物質移動のない地球外の環境では海水圏が無いので、内部での徐冷過程より、表面での急冷過程が顕著である。本件では、地球内外広く利用できる状態間の固化物質を急冷指標の観点から地球外について考察する。

急冷指標の現状とその必要性：地球の内部と圏システム活動と異なり、火星の二圏惑星は固体岩石から(衝突)遊離した大気圏が形成されている。軽元素二圏のない月・小惑星は、固体圏だけなので、岩石に軽元素が散逸し、一部残存している。地球外では、高温高压状態から急冷する継続過程は隕石衝突であり地球型の表層・環境とは異なる。

急冷過程での炭素含有物の重要性：地球外での固化過程は、揮発性炭素元素などが固体に混在して残留するタイプなので、地球型とは異なる。

地球外の炭素含有物の FE-SEM 観察：ミクロな炭素含有物の FE-SEM (EPMA)観察で、地球外試料に観察できる(月、隕石、火星隕石等)。これは直接宇宙空間に接しているので、衝突時に固体と軽元素が取り込まれ手いることを示す。

地球外天体の活動を炭素含有物から考察：ミクロな炭素含有物は、流体や継続的な極限状態で変

化するので、その残存は広域の海水流体や継続的な火山活動などが無いことを示します。火星の隕石の若い年代については、その試料での広域確認が必要である。止まった若い年代は、「継続的な活動がなく残存している」ので、小惑星衝突等による熔融急冷での中断(若返り)で説明ができる。

地球外天体における大気と岩石：海水圏がないので大気中の炭酸ガス等は流体や石灰岩等を形成せず、無活動的な天体であることを示す。

水の形成：固体内に軽元素を残すので、加熱すると水は局所的にある状態で生成されるが、全域に及ぶ海水システムができる水量ではない。

生命に必要な炭素源：生命体は炭素化合物がメインであるので、その炭素集積過程が重要で、本件の急冷過程は地球内外で重要な一過程である。

まとめ：地球外の急冷指標の炭素含有物は、炭素質隕石や、炭素の集積に必要な過程である。古い地球外隕石に急冷炭素含有物が残存しているのは、海水流体が関与していなかったことを示す。

参考文献：三浦保範 (1996)「衝撃波ハンドブック」(シュブリンガ・フェアークTokyo), 1073-1209. Miura Y. (2017) Planet. Sci.-2050, 8101 (USA). Miura Y. (2018) IMA-2018 (Melbourne, Australia) 2039.

Keywords: Quenched indicator, Solidified Process, Carbon-bearing process yasmiura50@gmail.com

Oral presentation R8: Metamorphic rocks and tectonics

 Fri. Sep 20, 2019 2:00 PM - 4:30 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 5:00 AM - 7:30 AM UTC |  A-117 East zone 1

R8: Metamorphic rocks and tectonics

Chairperson: Yusuke Endo, Yoshihiro Nkamura

[座長]

遠藤 俊祐: R8-01~R8-05

中村 佳博: R8-06~R8-10

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

[R8-01] Zircon–monazite–garnet behaviours during high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam

*Vuong Thi Sinh Bui¹, Yasuhito Osanai², Nobuhiko Nakano², Tatsuro Adachi², Ippei Kitano², Masaaki Owada³ (1. ISGS, Kyushu Univ., 2. SCS, Kyushu Univ., 3. Sci, Yamaguchi Univ.)

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

[R8-02] LA-ICP-MS zircon U-Pb ages from Oshima metamorphic rocks and their tectonic background

*Yasuhito Osanai¹, Ippei Kitano¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Sinh Vuong Bui¹, Masayuki Komatsu² (1. Kyushu Univ., SCS., 2. Ehime Univ., Sci.)

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

[R8-03] Excess Argon behavior in Dora Maira

*Tetsumaru Itaya¹, Hironobu Hyodo², Takeshi Imayama² (1. HIGC, 2. IFST, Okayama Univ. of Sci.)

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

[R8-04] **Electron back-scattered diffraction data of the Himalayan HP and UHP eclogites**

*Hafiz Ur REHMAN¹ (1. Kagoshima University)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[R8-05] Sadanagaite in SiO₂ phase-bearing Sulu UHP eclogites

*Masaki ENAMI¹, Yui KOUKETSU², Katsuyoshi MICHIBAYASHI², Tomoki TAGUCHI³ (1. Nagoya Uni., 2. Nagoya Uni. Envi., 3. Kyoto Uni.)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[R8-06] Temperature reconstructions of rocks deformed at shallow crustal depths: implications of calcite thermometry from MBT and NT rocks of Himachal Himalayas

*Dyuti Prakash Sarkar¹, Jun-ichi Ando¹, Akihiro Kano³, Hirokazu Kato³, Gautam Ghosh², Kaushik Das¹ (1. Hiroshima Univ., 2. Presidency Univ., 3. Tokyo Univ.)

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

[R8-07] U-Pb zircon geochronology of pre- to post-tectonic granite emplacement across the South Delhi Fold belt, India: Implication towards the age of transpressive orogeny

*Kaushik Das¹, Kalyanbrata Hatui², Anupam Chattopadhyay², Hikaru Sato¹ (1. Hiroshima University, Science, 2. University of Delhi)

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

[R8-08] Blueschist facies impure metachert as remarkable oxygen- and overlooked water-carriers in the subduction zone

*Wataru J YABUTA¹, Takao HIRAJIMA¹ (1. Grad. Sci., Kyoto Univ.)

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

[R8-09] Significance of talc-calcite vein from the Yaeyama metamorphic rocks

*Masahiro Yoshikawa¹, Kenji Asakura¹, Takao Hirajima¹ (1. Kyoto Uni.)

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

[R8-10] **Metamorphism and geochronology of epidote blueschists and eclogitic rocks from the Gotsu area, SW Japan**

*Akira Takasu¹, Fazle Md Kabir², Shunsuke Endo¹, Weimin Li³ (1. Shimane Univ., 2. Fujii Consulting & Associates, 3. Jiling Univ. China)

Zircon–monazite–garnet behaviours during high-grade metamorphism in the Kontum Massif, Vietnam

Vuong Bui Thi Sinh*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi, Ippei Kitano (Kyushu Univ.), Masaaki Owada (Yamaguchi Univ.)

The Kontum Massif is located at the southern part of the Trans Vietnam Orogenic Belt (Osanai et al., 2008), central Vietnam. It composes of three main complexes, namely the Kannak Complex in the southeastern, the Ngoc Linh Complex in the central and the Kham Duc Complex in the northwestern part of this massif (Tran Quoc Hai, 1986). The numerous geochronological studies have revealed two thermal events in these complexes: the Triassic event, at *ca.* 230–250 Ma (e.g., Nakano et al., 2007, 2013; Owada et al., 2016) and the Ordovician–Silurian event between 430 and 460 Ma (e.g., Nakano et al., 2013). Its metamorphic evolution in terms of petrography has been well understood on the basis of reaction textures, and mineral inclusions in porphyroblasts (e.g., Osanai et al., 2001, 2004; Nakano et al., 2007, 2013). However, the age information for the particular metamorphic stage during the metamorphic cycle is still obscured. Linking the growths of zircon–monazite–garnet can give the clues to reveal the relation between metamorphic stage and its timing. Therefore, this study carried out monazite chemical dating by EPMA from pelitic gneisses and conventional zircon U–Pb isotope dating by LA-ICP-MS from pelitic gneisses and mafic granulites from all three complexes, in the Kontum Massif, combining with geochemical relation of trace elements between zircon–monazite–garnet.

By combining the occurrences, cathodoluminescence images, trace elements as well as U–Pb isotopic data of zircon, the results indicated that the western Kannak Complex experienced the high temperature metamorphism at *ca.* 250 Ma with subsequent decompression. However, two high-grade metamorphic events were recorded in the Ngoc Linh Complex. The first high temperature metamorphism began at *ca.* 440–450 Ma with the attainment of the peak condition at *ca.* 430 Ma, overprinted by the second one at *ca.* 240–250 Ma with following decompression and exhumation stage at *ca.* 230 Ma. The medium pressure metamorphism, which involved in the Kham Duc Complex, occurred at *ca.* 240 Ma without any traces of early metamorphic event.

During the presentation, we also combine the results of the *in-situ* U–Pb measurement in thin section with above results to discuss the evolution of each complex in the Kontum Massif.

Keywords: *In-situ* U–Th–Pb ages, zircon, monazite, garnet, Kontum Massif.

*Corresponding author: buisinhvuongdc@gmail.com

八幡浜大島に分布する大島変成岩体の LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代と地体構造上の意義

小山内康人・北野一平・中野伸彦・足立達朗・Vuong Bui Thi Sinh (九州大)・
小松正幸 (愛媛大)

LA-ICP-MS zircon U-Pb ages from Oshima metamorphic rocks and their tectonic background

Y. Osanai*, I. Kitano, N. Nakano, T. Adachi, S. Vuong Bui (Kyushu Univ.),
M. Komatsu (Ehime Univ.)

愛媛県・八幡浜大島は、北部の大島（北島）、中央部の山王島、および南部の地大島からなる。八幡浜大島に高度片麻岩が存在することは鹿島・常盤井(1972)によって記載されて以来、その地体構造論上の帰属を巡って多くの調査研究がなされてきた (Murata, 1982; 鹿野ほか, 1990; 武田, 1995; 小松ほか, 1997 など)。高木(1991)はこの高度変成岩および関連火成岩体を大島変成岩体と呼称した。北島は主として三波川変成岩とみかぶ緑色岩帯弱変成岩からなり、南端部に約 500m に渡って大島変成岩体が分布する。地大島は主に真穴層によって占められ、北端部において逆転した真穴層の上位に花崗岩マイロナイトが衝上し、さらにその上にみかぶ緑色岩が衝上する。この花崗岩マイロナイトは大島岩体の一部に相当するとの見解もある。大島変成岩は、変ハンレイ岩、変閃緑岩、変花崗閃緑岩などの火成岩起源の変成岩類を主要な構成メンバーとし、ザクロ石-角閃石片麻岩、ザクロ石-黒雲母片麻岩、石灰珪質片麻岩、花崗岩質片麻岩などを挟在する。宮下・小松 (1999) は、大島変成岩体の最高変成条件はグラニュライト相 (7kbar, 700-750°C) に達しているとしみなしている。これらの変成岩類は、その上昇過程で複数時相のマイロナイト化作用 (I~IV 時相) により、極めて複雑な変形構造を有する。マイロナイト化作用の III 時相と IV 時相の間には大規模な断層活動に伴う顕著なシュードタキライト形成が認められる (小松ほか, 1997 など)。変形の弱いところでは堆積岩起源の片麻岩が広範な部分熔融が認められる。従って、大島変成岩は部分熔融を伴うグラニュライト相の主要な変成作用以降、マイロナイト化作用 III 期に至るまでは延性変形条件下にあったものが、脆性条件下のシュードタキライト形成期を経て、その後再び延性変形条件下に置かれた (小松, 2001)。

大島変成岩の帰属は、これまで岩相対比に基づいて検討され、みかぶ緑色岩 (鹿島・常盤井, 1972)

や黒瀬川帯 (鈴木, 1975) の一部とみなす考え、および古領家帯 (唐崎マイロナイト) や肥後変成岩との関連 (例えば、吉村・高木, 1999, 武田ほか, 2000 など) が提唱されてきた。なお、これまでに報告された大島変成岩の年代測定では、ホルンブレンドおよび黒雲母の K-Ar 鉱物年代として、角閃岩では 97.7Ma, ザクロ石角閃岩では 94.1Ma, ザクロ石-黒雲母片麻岩からは 90.9~95.0Ma が得られている (鹿野ほか, 1990)。また、ジルコン SHRIMP 年代として、109Ma (変ハンレイ岩), 117.2Ma (閃緑岩), 113Ma (花崗岩質片麻岩) が得られていた (坂島ほか, 1998, Sakashima et al., 2003)。

本研究では、変成岩 7 試料および関連火成岩類 4 試料から、LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を実施した。火成岩類からは、火成活動年代として $113 \pm 1.2 \sim 108 \pm 1.4$ Ma のコンコーディア年代が得られる。一方、変成岩類からは 2000~140Ma の極めて広範なインヘリテッド年代とともに、初期変成作用として 121~118Ma, および火成活動に伴う変成作用として 110~108Ma の隣接した 2 つの変成年代が得られた。このことは、堆積作用終了直後に最初の高温型変成作用が起こり、直後に約 110Ma の火成活動と連動した変成作用があったことを示す。ここで得られた火成活動年代および変成年代は、最近になって再測定された肥後変成岩の U-Pb 年代値 (小山内ほか, 2017, Bui et al., 2019) と極めて良く一致し、変成岩から得られるインヘリテッド年代のスパイクも高い類似性を示す。武田 (1998) や Sakashima et al. (2003) が指摘したように、大島変成岩と肥後変成岩の強い関連性を考慮する必要が改めて認識される。大島変成岩体の年代分布は、肥後変成岩のみならず関東山地や阿武隈変成帯の変成岩、火成岩の年代 (Hiroi et al., 1998, Ishihara and Orihashi, 2015 など) と一致する。今回の報告する多数の U-Pb 年代は、大島変成岩体の地体構造上の帰属を考察する上でも極めて重要なデータとなる。

Keywords: Zircon U-Pb age, 2 stage metamorphism, Oshima metamorphic rocks, tectonic background

*Corresponding author: osanai@scs.kyushu-u.ac.jp (Y. Osanai)

ドラマイラ岩体での過剰アルゴンの挙動

板谷徹丸（蒜山地質年代学研究所，地球年代学ネットワーク）
兵藤博信・今山武志（岡山理科大学フロンティア理工学研究所）

Excess Argon behavior in Dora-Maira

Tetsumaru ITAYA* (Hiruzen Institute for Geology & Chronology, and Japan Geochronology Network)

Hironobu Hyodo and Takeshi Imayama (IFST, Okayama University of Science)

Chopin and Maluski (1980) はドラマイラ岩体の北に位置するグランパルディソ岩体でエクロジャイト相の変成作用を被った岩石の白雲母 Ar-Ar 年代測定を実施し、その不一致年代から鉱物中のアルゴン拡散過程は地質学的には意味がなく、閉止温度論に疑問を投げかけた。この種の問題を知らながら、ドラマイラ岩体（1984年にコース石が発見され世界初超高压変成岩体）でも多くの Ar-Ar 年代学研究者は 1980 年代後半から主に白雲母（フェンジャイト）の Ar-Ar 年代を提出してきた。ほとんどの Ar-Ar 年代は不一致で意味がなかった(cf. Itaya *et al.*, 2011)。このことが過剰アルゴン問題として長く議論されてきたが、未だ、明快な説明はなされていない。

ドラマイラ岩体の超高压変成岩(UHP)ユニット（ピーク P-T-t : P=4.2 GPa, T=730°C, t=35 Ma）から採集された変形作用を免れたバリスカン花崗岩の黒雲母のアルゴン年代学から過剰アルゴン波の発生が観察された (Itaya *et al.*, 2018)。原岩年代の 3~4 倍の年代を示していることから、何らかの過程で巨大な過剰アルゴン波が発生し、黒雲母がそれを獲得した結果であると考えられる。個々の変成岩ユニットの上昇冷却過程で、岩石中の鉱物が蓄積した放射起源アルゴンを放出し、再度別の鉱物が獲得する過程を想定する場合、既に過剰アルゴンを獲得していた鉱物が後退変成作用で分解するしかない。問題としているバリスカン花崗岩はピーク温度の 730°C を経験していることからその時点では全ての鉱物の放射起源アルゴンは完全にリセットされていたと思われる。Itaya *et al.* (2018) は UHP ユニットの上位と下位に断層を介して存在するエクロジ

ャイト相 (T=ca.550 °C) や青色片岩相 (T=ca.400 °C) のユニットに過剰アルゴン波の起源を考えた。それらは UHP ユニットよりかなり低温度での変成作用しか受けず原岩の白雲母が完全にリセットされていなかったと考えられる。その後の上昇冷却過程で変形を受けた白雲母から放出されたアルゴンが (cf. Itaya *et al.*, 2011)、過剰アルゴン波を形成し、それを黒雲母が獲得したと考えた。

閉止温度が黒雲母より高い白雲母の Ar-Ar 年代フラクションは 70~150 Ma である。明らかに UHP ユニットのピーク年代 35 Ma より古い結果であり、白雲母も過剰アルゴンを獲得したことになる。上昇冷却過程での事件なので黒雲母の閉止温度に達する前に獲得したことになる。閉止温度が非常に低いカリ長石の K-Ar 年代は 43Ma (Itaya *et al.*, 2017) で、Ar-Ar 年代フラクションは 20~50 Ma であった。カリ長石もまた過剰アルゴン波の影響を一部受けていたことになる。現在、白雲母の閉止温度は 600°C ぐらいを考えている。カリ長石の閉止温度は非常に低い。UHP ユニットの昇冷却過程で白雲母、黒雲母、カリ長石の順でそれぞれが過剰アルゴンを獲得したことになる。中でも黒雲母の獲得時期のアルゴン分圧が最大であったと推定される。次に白雲母であり、カリ長石の獲得時期では最低であった。

本講演では過剰アルゴン波の挙動モデルを提案したい。

引用文献

- Chopin and Maluski (1980) CMP, 74, 109-122.
Itaya *et al.* (2011) JAES, 42, 1075-1090.
Itaya *et al.* (2017) JMPS, 112, 36-39.
Itaya *et al.* (2018) JMPS, 113, 171-180

Keywords: Dora-Maira, UHP unit, Excess argon behavior, Muscovite & K-feldspar Ar-Ar ages
Corresponding author: tetsumaru.itaya@gmail.com

Electron back-scattered diffraction data of the Himalayan HP and UHP eclogites

Rehman H. U. (Kagoshima University)

Electron back-scattered diffraction (EBSD) maps and crystal-preferred orientation (CPO) of eclogite-facies phases (omphacite, garnet, phengite, quartz, epidote, ilmenite, and rutile) and their retrogressed products (hornblende, biotite, and titanite) are reported for understanding the rheological behavior of crustal material during the subduction- and exhumation-related deformation regimes. Two types of eclogites from the Himalayan metamorphic belt, Kaghan Valley, Pakistan, were investigated within polished thin sections. Group-I eclogites (HP) are composed of garnet, omphacite, quartz with accessory rutile, ilmenite, titanite, zircon and secondary hornblende and biotite. Group-II eclogites (UHP) are composed of omphacite, garnet, phengite, epidote, quartz/coesite, with accessory rutile, ilmenite and titanite and retrograde hornblende. Multiphase-analyzed EBSD maps from HP and UHP eclogites are characterized by relatively deformed and preferably oriented omphacite overgrown by hornblende and irregularly placed clustered garnets. Epidote, phengite and quartz are randomly oriented. Omphacite, the peak eclogite-facies phase, exhibits L-type CPO where the maximum density of [001] axes is parallel to and high density of {110} poles is normal to the lineation in HP eclogites. This type of LPO suggests intra-crystalline plasticity with [001] {110} and $\langle 110 \rangle$ {110} active slip systems that commonly develops in a constrictive strain regime at mantle depths. Omphacite in UHP eclogites also exhibits a similar fabric but with stronger CPO. Garnet, the second dominant phase in the eclogite-facies stage, exhibits weak and complex fabric patterns in both groups of eclogites, behaved like rigid bodies that did not deform plastically. Quartz in HP eclogites show irregular CPO but the density in UHP eclogites is stronger compared with those in HP eclogites. Rutile, although occurs as accessory, but show preferred orientations along [001], suggesting their deformation coeval to those with the omphacite. Titanite, the by product of rutile indicate different CPO than rutile, suggesting their growth in late-stages. Hornblende in both HP and UHP eclogites have a strong CPO along [001] axes aligned parallel to the lineation that indicate homotactic crystal growth by the replacement of omphacite during the early stages of retrogression.

Keywords: Himalayan metamorphic belt, UHP eclogites, Crystal deformation, Garnet, Clinopyroxene

* Corresponding Author: hafiz@sci.kagoshima-u.ac.jp

SiO₂ 相を含む蘇魯超高压エクロジャイト中に産する 定永閃石

榎並正樹* (名古屋大)・瀬瀬佑衣・道林克禎 (名古屋大・院環境)・
田口知樹 (京都大・院理)

Sadanagaite in SiO₂ phase-bearing Sulu UHP eclogites

ENAMI Masaki*, KOUKETSU Yui, MICHIBAYASHI Katsuyoshi (Nagoya Univ.)
and TAGUCHI Tomoki (Kyoto Univ.)

定永閃石グループ鉱物は、Si = 5.0 (for O = 23) の理想組成式を持ち、それらは基本的に石英 (Qz) を含まない全岩組成が SiO₂ に乏しい岩石中に産する (Banno et al., 2004, EJM およびその引用文献)。しかし、SiO₂ 相を含むエクロジャイト中に産する定永閃石 (IMA の命名規約に従う) が、例外的に中国・蘇魯超高压変成帯から報告されている (e.g., Enami et al., 1993, JMG; Yamasaki et al., 2018, JMPS)。

今回分析した試料は、上記の論文によって Si に乏しい角閃石が報告されている蘇魯帯、東海地域から産したものである。主要な構成鉱物は、ざくろ石 (Grt)、シンプレクタイト (Symp) 化したオンファス輝石 (Omp)、角閃石 (Amp)、緑れん石、石英 (Qz) およびルチルであり、試料によってはフェンジャイトおよびパラゴナイトを含むことがある。Amp は、Grt の包有物として産するものを除くと、いずれも加水反応により降温期に形成されたものである。それらは、Grt を脈状に置き換える場合 (Amp1)、Grt と Symp もしくは Qz の粒界に産する場合 (Amp2)、曹長石 (Ab) を伴う Symp を形成する場合 (Amp3) と、に大別される。Qz との粒界では、Grt 側から順に Amp2、曹長石およびエリジン-オージャイト (Aeg) の鉱物帯が形成されている (図 1)。

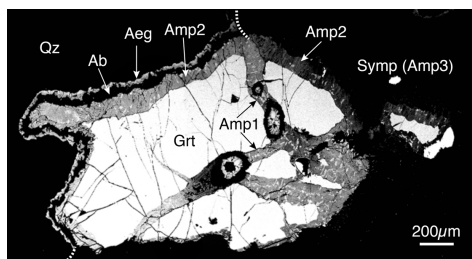


図 1 : Amp と Grt, Qz および Symp の組織を示す BSE 像。

【TEM および EPMA 観察】 FIB-TEM および STEM-EDS 観察によって、Grt-Amp2 粒界に他の鉱物相は認められない。そして、Grt には Amp2 との境界から幅数十 nm にわたって Mn の増加および Mg の減少が認められる。Grt の組成で規格化した Amp2 の Si/Al 値 $[(Si/Al)_{Amp2}/(Si/Al)_{Grt}]$ は、Grt との接する部分ではほぼ 1 であるが、Qz や Symp 境界に向かって増加し、全体としてパーガス閃石—定永閃石間の固溶体を示す。一方、Grt 粒界の Amp1 では、ほぼ 1 と一定の値を持つ。そして、これらの多くは定永閃石に属する。Symp を形成する Amp3 は、パーガス閃石である。

【EBSD 観察】 脈状の Amp1 は (100) が弱く集中したガードルタイプの LPO を示すのに対し、Qz と接する Amp2 は共通の結晶軸の集中を示すいくつかの領域に分かれる。また、Symp と接する Amp2 は、全体として共通する結晶軸の集中を示すと同時に、それは接する Symp を構成する Amp3 の方位とも共通する。これらの特徴にもとづいて各 Amp の領域を決定し、互いの組織を比較することにより、Amp1 は Amp2 および 3 に比べてより早期に形成されたと見なせる。

【まとめ】 定永閃石をはじめとする Si に乏しい Amp は、接する鉱物に対応した局所的な系の組成に依存して成長した。Amp2 が形成される以前の Grt と Omp もしくは Qz の相境界は、現在の Amp2 の途中にあり、Amp2 は Grt を置換するのみならず、Omp や Qz 側にも成長していた。Grt と Omp の粒界の Amp2 は、Symp の Amp3 の結晶方位に影響を受けて形成された。

Keywords: EBSD, TEM, EPMA, Sadanagaite, eclogite, UHP

Corresponding author: enami@nagoya-u.jp

Temperature reconstructions of rocks deformed at shallow crustal depths: implications of calcite thermometry from MBT and NT rocks of Himachal Himalayas

Dyuti Prakash SARKAR*(Hiroshima Univ.), Jun-ich ANDO (Hiroshima Univ.), Akihiro KANO (Tokyo Univ.), Hirokazu KATO (Tokyo Univ.), Gautam GHOSH (Presidency Univ.), Kaushik DAS (Hiroshima Univ.)

Temperature and depth of formation of fault rocks provide important insights of fault zone processes. The temperature estimation from shallow crustal rock deformation, however, is still under investigation for optimizing simplicity and accuracy of the measurements. Current temperature estimations rely primarily on calcite twin morphology (Rybacki et al. 2013 and reference therein), Raman spectroscopy of carbonaceous material (Beyssac et al. 2002), illite crystallinity analysis (Hara and Kurihara 2010, and references therein). Each of these standard methods has its advantages and limitations in estimation accuracy of temperatures and complexity of analysis. In context with lithology, in the current study we try to elucidate the temperature and depth information for calcite bearing fault rocks.

The present study focuses on fault zone rocks developed within the Himalayan frontal wedge bounded by Main Boundary thrust (MBT) and Main frontal thrust (MFT) (Yin 2006). The MFT form boundary with the active Gangetic foreland basin, hence, the dearth outcrop exposures. Therefore, in this study rocks from Nahan thrust (NT), a regionally prominent thrust within MFT sheet is considered. The calcite sample was collected from the core zone of the NT, exposed near Pinjore, Haryana, India. For rocks from MBT, the calcite samples were collected from the hangingwall and footwall rocks exposed near Gambarpul, Himachal Pradesh, India.

Calcite twin morphology from NT exhibits a primarily single set of Type-I twins (Ferrill et al., 2004). The footwall calcite sample from MBT also exhibits Type-I twins with few grains developing Type-II twins. However, the calcite sample of footwall rocks near the MBT boundary shows a predominance of Type-II twins and few Type-III twins. The calcite samples from the hangingwall have limited development of Type-II twins only, primarily due to finer grain size (Newman, 1994). Thus, calcites from NT as well as footwall of MBT yields a temperature $<170^{\circ}\text{C}$, while the calcite from the hanging wall of MBT and from footwall rocks close to the boundary of MBT yields a temperature of $>200^{\circ}\text{C}$. These temperature estimates are further confirmed with absolute values obtained from the carbonate clumped isotope thermometry (Kato et al., 2019). The calcite samples, therefore, show a significant difference in temperature values for NT ($170\pm 10^{\circ}\text{C}$) and MBT ($262\pm 30^{\circ}\text{C}$), implying a depth difference of $\sim 4\text{km}$ between the two thrusts, considering standard continental geothermal gradient of $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$.

This study thus provides the applicability of carbonate clumped isotope thermometry for estimating temperatures for deformed calcite at shallow crustal levels. Further studies are required to characterize the deformation microstructures from the varied crustal depths of MBT and NT.

Keywords: Calcite twinning, Clumped isotope thermometry, MBT, NT

References: Beyssac et al., (2002), *Metamorph. Geol.*; Ferrill et al., (2004), *Journal of Struc. Geol.*; Hara and Kurihara, (2010), *Tectonophysics*; Kato et al., (2019), *Geo. et Cosmo. Acta*; Newman, J., (1994), *Journal of Struc. Geol.*; Rybacki et al., (2013), *Tectonophysics*; Yin A., (2006), *Earth Sci. Reviews*.

Corresponding author: sarkardp16@hiroshima-u.ac.jp

U-Pb zircon geochronology of pre- to post-tectonic granite emplacement across the South Delhi Fold belt, India: Implication towards the age of transpressive orogeny

Kaushik Das^{1*}, Kalyanbrata Hatui², Anupam Chattopadhyay², Hikaru Sato¹

(¹ 広島大学, ² デリー大学、インド)

The South Delhi Fold Belt (SDFB)^[1], a part of the Aravalli-Delhi Orogenic Belt of NW India is a NNE-SSW- trending mobile belt consisting of strongly deformed Mesoproterozoic rocks of Delhi Supergroup underlain successively by the older Paleoproterozoic Aravalli Supergroup rocks, and the Archean crystalline basement rocks of Banded Gneissic Complex^[2]. The SDFB is bound by two nearly-parallel structural lineaments, called Rakhabdev-Khasangarh lineament in the east and Phulad lineament in the west. The present study area lies in the central part of the SDFB comprising amphibolite-grade metamorphosed calc-silicate rocks, pelitic schists and quartzite with the intermittent occurrence of granitic bodies. Calc-silicate rocks are more abundant on the west until Ranakpur Shear Zone (RSZ) which marks the boundary with Erinapura Granite country exposed in the west. The rocks in this part of the SDFB preserve the evidence of multiple phases of deformation and granitic emplacements.

A detailed meso- to micro-scale deformation study of the rocks in this area revealed regional-scale polyphase folding with broadly NNE-SSW trending axial planes parallel to the overall elongation of the fold belt. From the east to west of the present study area there are several large-scale alternate synforms and antiforms^[2]. However, the fold vergence is different from east to west, folds are easterly-verging in the eastern sector (near Kumbhalgarh Fort), while they are westerly-verging in the western part (around Pokharia village). The central portion ("Kumbhalgarh Steep Zone"^[3]), on the other hand, is characterized by the near-vertical shear zones with the dominance of sheath folds. The western boundary shear zone, i.e. RSZ also shows plenty of sheath-folds, and preserves the evidence of asymmetric slip/shearing both on the horizontal section (sinistral sense of shearing) and vertical section (top to the west reverse sense movement), indicating a resultant oblique slip. Combining this structural pattern on the western boundary shear zone with the east-west vertical cross-section in the north and central portions of the study area reveals a 'positive flower' structure with concomitant slip planes developed on the outcrop scale.

Generations of granitic rocks are sampled from this studied areas, one distinctly foliated variety co-folded with the surrounding calc-silicate rocks, and the other two varieties of late-tectonic to post-tectonic varieties. These later varieties are either intruded cutting across the foliation of the calc- silicate rocks and at places emplaced parallel to the limbs of the folds. Geochemically, these granite samples are mostly meta-aluminous granite to granodiorite in composition, with a distinct affinity towards I- and S- type granitic rocks. Primitive mantle normalized trace element distribution patterns show that these rocks are more LILE-enriched with distinct Pb- and Th-enrichment. Zircon grains are separated from pre-tectonic foliated granite and post-tectonic granitic pegmatite samples. The U-Pb zircon LA-ICPMS data from the former yield a strong concordant age probability peak at 995 ± 13 Ma, and that for the latter is 851 ± 7 Ma. These data put upper and lower age bracket for the major pulse of transpressive tectonics producing the crustal flower structure in the SDFB.

References: [1] Sinha-Roy (1984), Indian J. Earth Sci., pp. 84–91. [2] Heron (1953), G.S.I. Mem., 79, 1–389. [3] Sugden et al. (1990), Dev. Precam. Geol., 8. Elsevier, 367–396.

Keywords: Pre- to post-tectonic granite, South Delhi Fold Belt, U-Pb zircon age, Age for transpression

*Corresponding author: kaushik@hiroshima-u.ac.jp

Blueschist facies impure metachert as remarkable oxygen- and overlooked water-carriers in the subduction zone

YABUTA Wataru* and HIRAJIMA Takao
Graduate School of Science, Kyoto University

Basalt-based models have long centred deep-fluid studies since basic rocks compensate for the greater part of the subducting slab. As to the impact of other lithotypes on the water subduction, Hacker et al. (2008) showed a possible water carriage of terrigenous sediments siliceous ooze. Although their thermodynamic models are powerful clues to the water behaviour in the subduction zone, water subduction are left to be verified by natural samples, let alone oxygen subduction, which might be conducted by highly-oxidized oceanic sediments, i.e., impure metacherts.

Despite their biogenous origin, certain metachert samples are abundant in manganese, which might derive from highly-oxidized Fe- and Mn-nodules / crusts on the ocean floor (Kato et al., 2011). Reinecke (1986) tackled de-oxidation reactions in Mn-bearing metachert under higher-blueschist facies (400-500°C, 0.6-1.0 GPa). Tumati et al. (2015) portrayed an oxygen subduction based on oxygen carriage of eclogite-facies metacherts. As oxygen is abundant in impure metacherts and plays a crucial role in the metamorphism, their fate and legacy to deep-fluids are expected to be clarified.

This study focused on Mn-rich metacherts collected from the Kurosegwa Belt in Yatsushiro area, Kyushu, Japan. It is of central importance to characterize lower-grade (200-300°C, 0.45-0.8 GPa; Sato et al., 2016) samples because pseudo-section models are rather unreliable under such P-T condition. This study is also remarkable as the first study on water behaviour coupled with the oxidation states on low-grade impure metacherts. Now close observations on the samples reveal that Mn-rich siliceous rocks do contain considerable amounts of water, and deserve attention as possible oxygen carriers. These rocks are to increase their significance as a mass transporter in the subduction zone.

The samples are represented by high-pressure, hydrous and Mn-bg. minerals, e.g., sursassite, piedmontite and okhotskite, which are formed at the near-peak stage. These phases are promising water carriers, containing 1-6 wt% of H₂O. Above all, Mn-bg. Lawsonite (Ibuki et al., 2009) is the most powerful water budget (11 wt% as H₂O). In a sample KY1822, this mineral occupies a third of the volume, which enables 4 wt% H₂O content.

Simultaneously, these minerals with Fe and Mn trivalent are oxygen budgets. Piedmontite and okhotskite accommodate about 2,000 mole of oxygen per a cubic metre, 10 times as much as eclogite (after Malaspina et al., 2017). In addition, haematite, the most common Fe-phase, is 500 times stronger oxygen budget than eclogite. On the whole, impure metacherts could be strong oxidizer of the mantle.

Post-peak veins (todorokite and K-feldspar) are developed to cut the layers of near-peak metamorphic minerals (OT10I). These veins, abundant in fluid-mobiles (K and Ba), are attributed to fluid activities. It is notable that todorokite contains Mn⁴⁺, which suggests extremely high oxygen fugacity. This reminds us oxygen transportation by veins, as pointed out by Tumati et al. (2015).

This study depicts impure metacherts as remarkable oxygen- and disregarded water-vessels in the subduction zone. Though the fraction is small, the impact might be large enough to control local phenomena. In the rocks are also minute records of post-peak fluid activities. Although many things including the origin of post-peak fluids are left to be solved, metacherts without doubt have the key to much clearer image of the subduction zone.

Keywords: subduction zone, metacherts, deep-fluids, mass transfer

*Corresponding author: yabuta.wataru.25n@st.kyoto-u.ac.jp

八重山変成岩類に見られるタルク方解石脈とその意義

吉川 正紘*、朝倉顯爾、平島崇男(京都大)

Significance of talc-calcite vein from the Yaeyama metamorphic rocks

Masahiro Yoshikawa*, Kenji Asakura, Takao Hirajima(Kyoto Uni.)

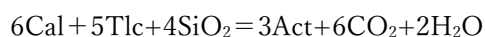
沖縄県石垣島には八重山変成岩類が広く露出しており、特徴的な変成鉱物およびその組み合わせによってI帯からIV帯に分帯される。II帯・III帯・IV帯は鉱物組合せの変化から一連の累進変成作用によって形成されたと考えられている[1]。II帯はパンペリー石(Pmp)-Na角閃石(Gln)の組合せを特徴とし、ローソン石(Lws)や霏石が認められ、III帯ではPmpとLwsが消滅しGln-緑簾石(Ep)ないしアクチノ閃石(Act)の鉱物組合せ、IV帯は、サブカルシック角閃石の出現で特徴付けられる[1,2]。また、泥質片岩中の炭質物の結晶化度から、変成温度はII帯で350°C前後、III帯で450°C前後、IV帯で450°C以上と報告されている[3]。

本研究では、当該地域が被った深部流体活動を解明するために、変成岩中に発達した鉱物脈とその構成鉱物について組織観察および化学組成分析を行った。今回はIV帯に産する緑色片岩からタルク(Tlc)を含む方解石脈を見出したので、その概略について報告する。

母岩の緑色片岩は、主にEp、Act、緑泥石(Chl)、石英(Qz)、曹長石(Ab)によって構成され、顕著な片理を持つ。鉱物脈は片理に斜交し、方解石(Cal)、Tlc、Chl、Qz、Abによ

って構成される。母岩中のActと脈中のTlcのMg:Fe比はいずれも3:1程度の値を示した。

このことから、母岩中のActと脈中のCalとTlcについて、以下の反応が考えられる：



この反応の安定条件を、CAMSH系に単純して熱力学的解析を行った結果、450°C 4~8kbarの条件では $\text{XCO}_2=0.02\sim0.08$ で反応が進行することがわかった。400°C、同圧力の場合では反応の進行する XCO_2 値は最大でも0.02となる。以上のことから、上昇中のIV帯の岩石に H_2O に富む流体が浸潤したときに、Tlc-Cal脈が形成されたと考えられる。

引用文献：1. 西村他(1983). 地質学論集, (22), 27-37. 2. Ishizuka & Imaizumi (1988). 3. Nuong, N. D., Itaya, T., & Nishimura, Y. (2008). Geological Magazine, 145(5), 677-684.

Keywords: talc, calcite, Yaeyama metamorphic rocks

*Corresponding author,
yoshikawa.masahiro.63s@st.kyoto-u.ac.jp

島根県江津地域緑れん石青色片岩とエクロジャイト質岩 の変成作用と地質年代

高須 晃* (島根大学・総合理工)・Kabir, Md Fazle (藤井基礎設計)・
遠藤俊祐 (島根大学・総合理工)・Li, Weimin (中国・吉林大学)

Metamorphism and geochronology of epidote blueschists and eclogitic rocks from the Gotsu area, SW Japan

Takasu, A.* (Shimane Univ.), Kabir, Md Fazle (Fujii Consulting & Associates),
Endo, S. (Shimane Univ.) and Li, Weimin (Jiling Univ., China)

江津地域には周防変成帯(変成年代 ca. 200 Ma)とされる青色片岩等の高压型結晶片岩類が広範囲に分布する(Nishimura, 1998). 中向井地区には径約 500 m の蛇紋岩体が存在し, その内部にざくろ石-緑れん石-バロワ閃石片岩等の高度変成岩(エクロジャイト質岩)が分布する(千貫, 1985; 高須ほか, 2018).

青色片岩のピーク変成ステージはNCKFMASHO モデルシステムでのP-T シュードセクションにより 475-500°C, 14-16 kbar の変成条件が得られた(Kabir et al., 2018).

一方, エクロジャイト質岩(ざくろ石-緑れん石-バロワ閃石片岩)はシュードセクション・モデリングにより, 570-580 °C, 24-25 kbar のピーク変成条件を示した(高須ほか, 2018). エクロジャイト質岩は産状と変成条件より蓮華帯(変成年代 ca. 300 Ma)のエクロジャイトに対比される可能性がある.

青色片岩と連続する泥質片岩(901, 902)とエクロジャイト質岩(903E)中のフェンジャイトのK-Ar 年代測定を行った. 901 と 902 はそれぞれ細粒(F)と粗粒(C)の粒子を分離し, 測定を行った. 結果は, 901F: 187.0 ± 4.0 Ma, 901C: 190.7 ± 4.1 Ma, 902F: 181.5 ± 3.9 Ma, 902C: 183.2 ± 3.9 Ma, 903E:

216 ± 4.6 Ma となった. 泥質片岩はいずれも粗粒の方が数 Ma 古い値を示すが, 誤差の範囲で調和年代となる. 901 と 902 の比較では 901 が細粒, 粗粒とも系統的に古い値を示すが, それぞれは誤差の範囲で調和的といえる. また, これらの年代はこれまでに江津の泥質片岩より報告されている 191 Ma 及び 195 Ma の年代値(Shibata and Nishimura, 1989)ともよい一致を示す. 一方, エクロジャイト質岩(903E)は 901 および 902 に比べて有意に古い年代を示すが, 期待した 300 Ma 前後の蓮華変成岩の年代は得られなかった. 今後, LA-ICP-MS によるジルコンの年代測定等によりエクロジャイト質岩のピーク変成年代の確定が必用である.

引用文献: Kabir et al. (2018) Mineral. Petrol. 112, 819-836. Li et al. (2009) JMPS 104, 110-116. Li et al. (2011) JMPS 106, 326-331. Nishimura (1998) JMG, 16, 129-140. 千貫 (1985) 島大研報, 4, 41-59. Shibata and Nishimura (1989) Mem. GSJ 33, 317-341. 高須ほか (2018) 地質学会講演要旨.

Keywords: Suo belt, Renge belt, blueschist, eclogite, pseudosection modeling, K-Ar age

* Corresponding author:

e-mail: takasu@riko.shimane-u.ac.jp

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

📅 Fri. Sep 20, 2019 3:30 PM - 5:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 6:30 AM - 8:00 AM UTC | 🏠 Lecture 1a
Lecture

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

Chairperson: Tsuchiya Noriyoshi, Tetsuo Kawakami

[座長]

河上哲生 S2-01~S2-03

土屋範芳 S2-04~S2-06

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

[S2-01] Permeability of the Earth's Crust and Amount of Geofluids

*NORIYOSHI TSUCHIYA¹, Masaaki Uno¹, Fajah Febiani Amanda¹, Diana Mandaleva¹, Fumiko Higashino²
(1. Tohoku Univ., 2. Okayama Univ. of Sci.)

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

[S2-02] Effect of microstructural evolution on permeability in polycrystalline aggregates

「発表賞エントリー」

*Wakana Fujita¹, Michihiko Nakamura¹, Gregor Golabek², Marcel Thielmann², Philipp Eichheimer²,
Kentaro Uesugi³ (1. Tohoku Uni. Sci, 2. Univ. Bayreuth, 3. JASRI)

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

**[S2-03] Relationship between the physical properties and hydration of the oceanic lower crust/
Moho TZ: results from onboard measurements of ICDP Oman Drilling Project (ChikyuOman)**

*Natsue Abe¹, Keishi Okazaki², Ikuo Katayama³, Kohei Hatakeyama³, Yuya Akamatsu³, Science Party
ICDP OmanDP (1. Mantle Drilling Promotion Office (MDP), MarE3, JAMSTEC, 2. KCC, X-star, JAMSTEC, 3.
Hiroshima University)

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

**[S2-04] Oxygen isotope speedometry in garnet recording fluid-rock interaction during high-
temperature metamorphism**

*Fumiko Higashino^{1,2}, Daniela Rubatto^{2,3}, Tetsuo Kawakami⁴, Anne-Sophie Bouvier³, Lukas P
Baumgartner³ (1. OUS, 2. UNIBE, 3. UNIL, 4. Kyoto Uni.)

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

[S2-05] Reaction-induced fracturing and permeability development in MgO-H₂O system

「発表賞エントリー」

*Hisamu Kasahara¹, Masaaki Uno¹, Atsushi Okamoto¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Uni.
Environmental Studies)

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

**[S2-06] Alteration processes associated with selective leaching of elements in basalt-seawater
system revealed by supercritical hydrothermal flow through experiment**

「発表賞エントリー」

*Yusuke Netsu¹, Atsushi Okamoto¹, Nobuo Hirano¹, Masaaki Uno¹, Noriyoshi Tsuchiya¹ (1. Tohoku Uni.,
Env.)

地殻の透水性と付与される流体の量

○土屋範芳, 宇野正起, F. F. Amanda, D. Mindaleva
(東北大・環境), 東野文子 (岡山理大・理)

Permeability of the Earth's Crust and Amount of Geofluids

N. Tsuchiya, M. Uno, F. F. Amanda and D. Mindaleva (Tohoku Univ.)
and F. Higashino (Okayama Univ. of Sci.)

Transport phenomena of geofluids in the Earth's crust are controlled by both of diffusion equation (Fick's second law), and Darcy's law. In both cases, diffusion constant and permeability are key parameters to describe phenomena. We investigated transport phenomena of specific species in rock matrix around veinlets which were a supply source of external fluids, and then we evaluated diffusion constant and permeability of rock matrix under lower crustal environment. The total budget of geofluids were also evaluated.

沈み込み帯において、島弧地殻にどの程度の水が供給されているかは、沈み込み帯全体での水の循環（物質収支）から考える必要がある。このとき、地殻内の流体流動の基本的なプロセスは、濃度勾配に起因する拡散現象と圧力勾配に起因する流動現象に大別される。拡散現象は、拡散方程式、流動現象はダルシー則で記述されるのが一般的である。また、拡散現象に流れが加わると移流—拡散方程式となるが、この場合の移流項は、ダルシー則から求められる流速に支配される。

これらの移動プロセスで物質や環境により大きく変化するのは、拡散係数と浸透率（透水係数）である。拡散係数については、さまざまな研究が進められ、実験的も現象論的にも、一定の数値が推定されている（Higashino et al., 2019）。一方、地殻深部での浸透率は充分には明らかになっていない。本研究では、下部地殻においては、変成作用ならびに火成作用により母岩に

供給された流体量とその移動現象を解析し(Uno et al., 2017, Amanda, et al., 2019), 下部地殻環境での岩石マトリックスの着目成分の拡散係数ならびに流体の浸透率を求めた。

Amanda, F. F., Yamada, R., Uno, M., Okumura, S. and Tsuchiya, N., 2019, Evaluation of Caldera Hosted Geothermal Potential during Volcanism and Magnetism in Subduction System, NE Japan, *Geofluids*, 10.1155/2019/3031586

Higashino et al, 2019, Brine Infiltration in the Middle to Lower Crust in a Collision Zone: Mass Transfer and Microtexture Development Through Wet Grain-Boundary Diffusion, *J. Petrology*, 60, 329-358. 10.1093/petrology/egy116

Uno, M., Okamoto, A., and Tsuchiya, N., 2017, Excess water generation during reaction-inducing intrusion of granitic melts into ultramafic rocks at crustal P-T conditions in the Sør Rondane Mountains of East Antarctica, *Lithos*, 10.1016/j.lithos.2017.04.016

Keyword: Diffusion, Permeability, Water Budget, Caldera, Magmatism, Fluid Flow, Metamorphism

多結晶岩石における組織形成が浸透率に与える効果

藤田和果奈* (東北大), 中村美千彦 (東北大), Gregor J. Golabek (バイロイト大), Marcel Thielmann (バイロイト大), Philipp Eichheimer (バイロイト大), 上杉健太郎 (JASRI)

Effect of microstructural evolution on permeability in polycrystalline aggregates

Wakana Fujita*, Michihiko Nakamura (Tohoku Univ.), Gregor J. Golabek, Marcel Thielmann, Philipp Eichheimer (University of Bayreuth), Kentaro Uesugi (JASRI)

背景・目的: 地球内部の岩石の結晶粒間にはしばしば超臨界水やマグマといった流体相が岩石から分離する過程は、沈み込むプレート内での地震発生やマグマの生成などの重要な諸現象を支配する。流体移動の効率を表す浸透率は、岩石粒間の流路の幾何学的構造に強く依存する。しかしながら、岩石の微細構造は温度圧力の変化に伴う変成・融解作用とその時間経過によって進化し、それによって流体の浸透率がどうコントロールされるのかはよく理解されていない。本研究では、高温高压実験で定常的な粒成長段階にある多結晶体を合成し、放射光 X 線 CT を用いて空隙構造のイメージングを行い、浸透率の数値計算を行った。

手法: ピストンシリンダー型高压発生装置を用い、1GPa, 900℃の条件で石英多結晶体を合成した。流体量と二面角を流体の CO₂/H₂O 比で 52, 61, 71 °の三段階に制御し、流体体積分率で 3.7–13 vol.%とした。実験産物の X 線 CT 撮影を SPring-8 で行い、解像度 0.51μm/pixel の CT 像を得て、この空隙構造を用いて浸透率の数値計算 (LaMEM model; Kaus et al., 2016) を行い、計算結果と流路構造の比較を行った。

結果: CT 像の空隙構造の観察から、(1) 流体量や固液二面角の値に関わらず粒子スケールで流体のプールが形成されていること、(2) 流体量が少ない試料では 0.7–1.8vol.%の流体が連結せず、孤立して分布していることが分かった。(1)の流体のプールは結晶粒成長に伴う間隙流体の移動・合体によって形成されたと考えられる。浸透率の計算結果を Wark and Watson (1998)による実測値と比較したところ、Qtz-H₂O系の試料の計算結果は Qtz-H₂O-(NaCl)系の実測値と、Qtz-H₂O-CO₂系の計算結果は Cal-H₂O系の実測値と調和的であった。一方、二面角形状のみに基づく理想的な流体分布を仮定した理論モデルと比較すると、実験産物の計算結果は流体量が少ない試料で 1 桁ほど低い結果となった。この差は、単純化された理論モデルでは考慮されていない空隙構造; (1)の流体が粒子スケールで不均質に分布していることや (2)の浸透率に寄与しない流体が存在していることに起因すると考えられる。(2)の孤立した流体は、含水鉱物の安定領域を超えて沈み込むスラブとともに地球深部に運搬される可能性がある。

Keyword: grain growth, quartz aggregate, dihedral angle, permeability

*Corresponding author: w.fujita@dc.tohoku.ac.jp

海洋下部地殻～モホ遷移帯における加水作用と岩石物性変化について：ICDP オマーン掘削コア試料の「ちきゅう」船上計測結果

阿部なつ江^{*1}・岡崎啓史²・片山郁夫³・畠山航平³・赤松祐哉³・The Oman Drilling Project Science Party

Relationship between the physical properties and hydration of the oceanic lower crust/ Moho TZ: results from onboard measurements of ICDP Oman Drilling Project (ChikyuOman)

Natsue Abe^{*1}, Keishi Okazaki², Ikuo Katayama³, Kohei Hatakeyama³, Yuya Akamatsu³, The Oman Drilling Project Science Party

(1:MDP, MarE3, JAMSTEC; 2 : KCC, X-star, JAMSTEC, 3 : Hiroshima University)

オマーン・オフィオライトにおいて、2016 年から 2018 年にかけて陸上掘削を行い、回収率 100%で約 3200m 長分の岩石コア試料を採取した。下部地殻～上部マントル層相当の部分にかけて得られたコア試料著しく変質しており、かんらん石は 100%蛇紋石化していた。採取したコア試料は、清水港に停泊中の地球深部探査船「ちきゅう」へ搬送し、2017 年と 2018 年に合計 4 ヶ月間、世界 17 カ国からのべ 195 名の乗船研究者が参加し、火成岩岩石学、変成岩岩石学、構造地質学、古地磁気学、地球化学、岩石物性の 5 チームに分けて記載・分析した。

ここでは、2 年目の岩石物性計測データを元に、オフィオライトにおける地殻～マントル境界およびマントルセクションの物性変化を示す。X 線 CT スキャン、MSCL (マルチセクターコアロガー) による非接触電気比抵抗、

密度、帯磁率計測データや、個別試料 (2cm 角の立方体など) で測定した熱伝導率、密度、空隙率、P 波速度、塩水飽和および乾燥試料の電気伝導率、帯磁率などを測定した。その結果、これら岩石物性は、鉱物モード組成や全岩化学組成と良い相関を示すことがわかった。地殻～マントル境界を掘削した Hole CM1A において、平均 Vp 7km/s の変斑れい岩 (下部地殻セクション) と平均 Vp 5 km/s の蛇紋岩 (マントルセクション) との間の“古モホ面”において、予想された速度構造とは反対の速度逆転が見られた。特に、超マフィック岩 (蛇紋岩) における Fe 含有量—帯磁率—電気伝導率—熱伝導率に非常に良い相関が見られることがわかった。

本発表では、モホ面の反射率やモホ面を構成する岩石層やその変質程度などについて議論する。

Key words: ICDP OmanDP, D/V Chikyu, Ophiolite, Oceanic Crust, Moho TZ

*Corresponding author: abenatsu@jamstec.go.jp

酸素同位体を用いた地質速度計：高温変成作用下で 岩石—水相互作用を記録するザクロ石への適用

東野文子(岡山理科大学)*、Daniela Rubatto (ベルン大学、ローザンヌ大学)、
河上哲生(京都大)、Anne-Sophie Bouvier、Lukas P. Baumgartner (ローザンヌ大学)

Oxygen isotope speedometry in garnet recording fluid-rock interaction during high-temperature metamorphism

Fumiko Higashino* (OUS), Daniela Rubatto (Uni. Bern, Uni. Lausanne),

Tetsuo Kawakami (Kyoto Uni.), Anne-Sophie Bouvier, Lukas P. Baumgartner (Uni. Lausanne)

ザクロ石は、安定に存在する温度圧力領域が広く、しばしば他の鉱物を包有物として含むことから、異なる温度圧力条件の複数の変成ステージを記録する [1, 2, 3]。しかし、高温変成条件下では、拡散係数が大きい [4]、化学組成ゾーニングは拡散により書き換えられることが多い。その拡散プロファイルが鉱物中に記録されるか否かは、拡散係数と高温継続時間、および対象鉱物の粒径に依存する。

地質速度計は、拡散プロファイルを拡散方程式でフィッティングすることにより、冷却速度・高温継続時間を制約する手法である [5, 6]。微量元素や同位体を用いた地質速度計は、既知の拡散係数と高度な分析技術が必要となるため未だ発展途上にあるが、価数の大きい希土類元素など拡散の遅い元素の有用性に注目が高まっている [7]。本研究では、近年、実験的研究による拡散係数の決定と分析技術の発達が目覚ましい、ザクロ石中の酸素同位体に着目し、地質速度計を適用し、高温継続時間を制約することを試みた。

本研究で扱う試料は、東南極セール・ロンダーネ山地東部のバルヒェン山に産する、ザクロ石—黒雲母—珪線石片麻岩である。本試料に含まれるザクロ石斑状変晶は、リンのゾーニングで明確にコアとリムの境界を定義することができ、リンに富むコアには塩素濃度の低い黒雲母が、リンに乏しいリムには塩素濃度の高い黒雲母が包有される [8]。すなわちザクロ石のコア形成後、塩素に富む流体が流入したと考えられ、その温度圧力条件は

約 800 °C, 0.8 GPa と見積もられている [8]。本試料のザクロ石斑状変晶に対し、SIMS を用いてザクロ石のコアからリムにかけて酸素同位体比の線分析を行った。その結果、コアからリムにかけて酸素同位体比が、約 15.6 ‰ から約 10.8 ‰ に、徐々に減少するプロファイルが得られた [9]。酸素同位体比の変化は、ザクロ石のコア・リム境界の両側約 400 μm で対称に見られ、より遠方ではフラットな値を示す。コアからリムにかけて、酸素同位体比は約 5 ‰ 減少する [9]。この差は、閉鎖系で鉱物が結晶化する際に生じる同位体分別のみで説明するには大きすぎることから、コア形成後に、酸素同位体比の低い流体が流入したと考えられる [9, 10]。

この酸素同位体比のプロファイルは、拡散方程式でフィッティングすることができ、800 °C における既知の拡散係数を用いると、高温継続時間は約 0.5-40 Myr と見積もられた [9]。本発表では高温継続時間の制約に加えて、流入した流体の起源についても議論する。

引用文献 1. Spear et al., 1984. *Geology* **12**, 87-90. 2. Caddick & Kohn, 2013. *Elements* **9**, 427-432. 3. Kohn & Penniston-Dorland, 2017. *RiMG* **83**, 103-152. 4. Borinski et al., 2012. *CMP* **164**, 571-586. 5. Pyle & Spear, 1999. *GMR* **1**, 1-49. 6. Ganguly, 2010. *RiMG* **72**, 559-601. 7. Vielzeuf et al. 2005. *Am Min* **90**, 463-472. 8. Higashino et al. 2013 *Precam. Res.* **234**, 229-246. 9. Higashino et al. *JMG* in press. 10. Kohn, 1993. *CMP* **113**, 249-261.

Keywords: oxygen isotope, garnet, SIMS, brine, granulite

*Corresponding author, f.higashino@das.ous.ac.jp

MgO-H₂O 系における反応誘起破壊と 透水率の時間発展

笠原 久夢, 宇野 正起, 岡本 敦, 土屋 範芳 (東北大学環境科学研究科)

Reaction-induced fracturing and permeability development in MgO-H₂O system

Hisamu Kasahara*, Masaaki Uno, Atsushi Okamoto, Noriyoshi Tsuchiya

(Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University)

To understand the different modes of fracturing in water-rock reactions, it is necessary to clarify the relationship between reaction-induced fracturing and permeability development in hydration reaction. In this research, we conducted hydrothermal flow-through experiments using the samples of sintered periclase (MgO) to investigate internal structural change and permeability development during hydration. From this result, the relationship between reaction-induced fracturing and permeability development was discussed.

岩石-流体反応にともなう固相の体積膨張は応力を発生させ、その誘起応力は蛇紋岩化作用において熱力学的には、1.5 GPa にもおよぶと予測される(Kelemen and Hirth, 2012)。このような反応に伴う固相の体積膨張は、き裂を生成させ、透水率上昇を引き起こし、反応を促進する。一方、体積膨張反応にもかかわらず破壊が生じず、流体供給や反応の進行が抑制される反応帯も報告されている(Centrella *et al.*, 2015)。こうした極端な力学・水理学応答の違いは、熱力学的平衡論では説明できず、その相互作用のメカニズムは未だに明かになっていない。

本研究では、吸水反応に伴う反応誘起破壊と透水率挙動の相互作用の解明を目的として、流通式水熱実験を行った。試料は体積膨張率~120 %の MgO 焼結体で、空隙率 $\phi = \sim 0.5 \%$, 10~15 %の2種類を用意した。流体は H₂O を使用した。初期流体圧は 5.0 MPa、流量は試料の上流と下流の差圧が < 10 MPa となるよう適宜調整した。封圧は Max50 MPa、

Keywords : hydration, reaction-induced fracturing, permeability

*Corresponding author:h.kasahara@geo.kankyo.tohoku.ac.jp

反応温度は 100 ~ 200 °C 内で設定した。

封圧 20 MPa で実験を行った結果、高空隙率の試料では、温度ごとに透水率挙動が変化し、200 °C では単調減少、100 °C では振動が見られた。また、CT 観察では試料全体が一樣に反応し、Mg (OH)₂ が析出している様子が観察された。低空隙率の試料では、200 °C において、透水率が $< 5.6 \times 10^{-20} \text{m}^2$ から $\sim 3.0 \times 10^{-17} \text{m}^2$ まで上昇した。また、CT 観察により、ネットワーク上にき裂が発達している様子が観察された。従って、低空隙率の試料における透水率上昇は、吸水反応で観察される、応力発生とき裂生成、流体供給の反応促進機構を再現したと考えられる。

このような試料の内部構造変化と透水率挙動変化は、体積膨張反応に伴う応力発生と密接に関係している。このため、以前行った反応誘起応力測定実験の結果と本実験の結果を合わせて考察し、体積膨張反応における反応誘起破壊と透水率挙動変化との関係及びその支配要因に関して議論を行う。

超臨界流通式水熱実験による玄武岩-海水系の 元素の選択的溶脱に伴う変質過程

根津勇介、岡本敦、平野伸夫、宇野正起、土屋範芳（東北大・環境）

Alteration processes associated with selective leaching of elements in basalt-seawater system revealed by supercritical hydrothermal flow through experiment

Yusuke Netsu¹, Atsushi Okamoto¹, Nobuo Hirano¹, Masaoki Uno¹, Noriyoshi Tsuchiya¹

¹Graduate School of Environmental Studies Tohoku University

We conducted the hydrothermal flow-through experiments on basalt-fluid (distilled water, brine, seawater) interaction under supercritical conditions to understand the relationship between mass transfer and metamorphism within hydrothermal systems of oceanic crusts. We revealed that the reaching of albite component dominantly occurs in distilled water and brine, whereas in seawater, chlorite was formed throughout reaction vessel by reactions of clinopyroxene and plagioclase in matrix with Mg ion in seawater. Our result suggests that initial solution chemistry provides significant controls on the reaction pathways and evolution of fluids during hydrothermal alteration of oceanic crusts.

中央海嶺系ではアイランドの掘削プロジェクトによって超臨界地熱資源の開発や、海洋底熱水鉱床の利用などの注目が集まっており、これらの系の理解のための超臨界条件下の岩石-海水相互作用の解明に向けた研究の重要性が高まっている。これまでの玄武岩-海水相互作用の研究は、閉鎖系実験と熱力学を用いた地化学モデリングなどが中心であり、系が平衡に達した時の鉱物、流体組成については理解が進んでいる。しかし海洋底熱水循環系のような開放系かつ超臨界条件での元素の移動と、変質作用の反応過程については、系は平衡に達しているとは限らず、実験を行うには過酷な条件という問題から、あまり解析が進められていない。そこで本研究では、超臨界条件下で玄武岩-海水系の流通式実験を行った。実験条件は IDDP2 の深部の超臨界環境かつ、溶存種の平衡解析が可能な 400 - 410 °C、38 - 40 MPa で、実験は 2 - 6 日間行った。岩石はアイランド玄武岩、

流体は海水および比較のために蒸留水、塩水 (2.5 wt% NaCl) を用いた。

海水実験では、反応容器の入り口で海水から石膏が析出し、pH=2.4 という (初期 pH = 8.4) 著しい低下が見られた。6 日間の実験で岩石の約 50 wt% は緑泥石となった。顕著な緑泥石の生成が見られたのは、pH が低下した海水において単斜輝石と斜長石の溶解が非常に速く進んだためだと考えられる。また、上流で溶脱した鉄が、下流において鉄酸化物として再沈殿していた。一方で、蒸留水と塩水の実験においては、斜長石の Si、Al、Na が選択的に溶脱し、灰長石に置換され、単斜輝石はあまり反応しなかった。海水とは対照的に pH は 5.8 から 9 まで上昇した。

これらの実験結果は、玄武岩-海水の反応は、塩水、蒸留水の場合と大きく異なることを示しており、この違いは海水中の溶存種に関連する pH 変化とそれに伴う鉱物の溶解速度の変化によって生じたと考えられる。

Keyword: Basalt-Seawater interaction, Supercritical fluid, Flow-through experiments

E-mail: netsu@geo.kankyo.tohoku.ac.jp