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 Ia 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 Yoshimi[1], Toshiro Nagase[2], Takahiro Kuribayashi[1], Hiroyuki Imai[3], Toshiro Okada[4] (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 Kanzaki[1] (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-Li_2O-V_2O_5 Flux System

*Toshiya Abe[1] (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 Noritake[1] (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 Sugiura Sugiura[1], Yasuko Saito[2], Takashi Endo[2], Yoji Makita[1] (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 Ryoichi[1], Masahiko Sato[2], Masashi Ushioda[3], Yujiro Tamura[4], Shinji Yamamoto[4] (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 Yamanaka[1], Takanori Hattori[2], Kazuki Komatsu[3], Yuki Nakamoto[4], Saqib Rahman[1], Lin Wang[1], Ho-kwang Mao[1], Naohisa Hirao[5] (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 $Al_2Si_2O_7$ phase synthesized at the condition of 15.5 GPa and 2473 K**

*Takahiro Kuribayashi[1], Youmo Zhou[2], Hiroaki Ohfuji[2], 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 Sakaguchi[1], Noriko Saito[1], Taku Suzuki[1] (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 Irifune[1], Keisuke Mitsu[1], Akihiro Yamada[2] (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 Yoshiasa Yoshiasa[1], Makoto Tokuda[2], Masaaki Misawa[3] (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 Yasutake[1], Epifanio Vacarro[2], Kentaro Uesugi[3], Akihisa Takeuchi[3], Tsukasa Nakano[4], 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 Iemoto[1], Yusuke Seto[1], Akira Miyake[2] (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 Kimura[1] (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 Tsuchiyama[1], Momoko Hashino[2], Akira Kitayama[2], Akira Miyake[2] (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 Daiki[1], Takashi Mikouchi[2] (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 Takahashi[1], Tomoki Nakamura[1], Michael Zolensky[2] (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 H_2^+-irradiated corundum simulating space weathering

*Yohei Igami[1], Shunsuke Muto[1], Masahiro Ohtsuka[2], Yuta Yamamoto[1], Aki Takigawa [3], Akira Miyake[3] (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 Nakamura[1], Cateline Lantz[2], Shiho Kobayashi[1], Nakauchi Yusuke[3], Amano Kana[1], Rosario Brurnetto[2], Megumi Matsumoto[1], Miki Takahashi[1], Moe Matsuoka[3], Takaaki Noguchi[4], Toru Matsumoto[1], Akira Miyake[5], Akira Tsuchiyama[6], Mike Zolensky[7] (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 Enju[1], 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 Imae[1] (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 Takenouchi[1], Hirochika Sumino[2], Karin Shimodate[2], Keisuke Nagao[2], 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 Sato[1], Kazuhito Ozawa[1] (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 Akizawa[1], Kazuhito Ozawa[2], Wallis Richard Simon[2], Akihiro Tamura[3], Tatsuhiko Kawamoto[4], Atsushi Yasumoto[5], Chihiro Ohshima[1], Akira Ishikawa[6], Tetsu Kogiso[7] (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 Yamazaki[1], Tetsuo Kawakami[1], Fumiko Higashino[2] (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 Hamada[1], Estelle F. Rose-Koga[2], Kenneth T. Koga[2], Takayuki Ushikubo[1], Kenji Shimizu[1], Hideo Harada[3], Yoshiaki Yamaguchi[3] (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 Ishibashi[1], Oida Ryoya[1], Atsushi Yasuda[2], Natsumi Hokanishi[2], Tatsuro Chiba[3] (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 Matsumoto[1] (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 pumiceunder low vapor pressure

「発表賞エントリー」

*Hiroki Yasukawa[1], Mayumi Mujin[1], Michihiko Nakamura[1], Shizuka Otsuki[2] (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 Okumura[1], Akira Miyake[1] (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 Ia 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 Okamoto[1], Takahiro Kuribayashi[1], Toshiro Nagase[2] (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)O_3: on the average and local structures

「発表賞エントリー」

*Ginga Kitahara[1], Akira Yoshiasa[1], Tsubasa Tobase[2], Makoto Tokuda[3], Kazumasa Sugiyama[3] (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 Kyono[1], Shubhi Arora[1] (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 Tokuda[1], Akira Yoshiasa[2], Seiichiro Uehara[3], Ritsuro Miyawaki[4], Koichi Momma[4], Kazumasa Sugiyama[1] (1. Tohoku Uni. 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 Nakamura[1], Kazumasa Sugiyama[1], Toshiro Nagase[2] (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 Kawata[1], Keiko Fujiwara[1], Akihiko Nakatsuka[1] (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 Ib 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 Ono[1], Atsushi Takenouchi[2], Takashi Mikouchi[3], Akira Yamaguchi[2] (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 Kanemaru[1], Akira Yamaguchi[1,2], Naoya Imae[1,2], Hirotsugu Nishido[3] (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 Miyahara[1], Akira Yamaguchi[2], Eiji Ohtani[3] (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 Shikina[1] (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 Tomioka[1], Masahiro Kayama[3], Chang Yu [3], Hirotsugu Nishido[4], Kaushik Das[2], Auriol Rae[5,6], Ludovic Ferrière[7], Sean Gulick[8], Joanna Morgan[5], 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 Okuchi[1], Narangoo Purevjav[1], Norimasa Ozaki[2], Yusuke Seto[3], Toshinori Yabuuchi[4] (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 Ejima[1], Azumi Yoneyama[1], Masahide Akasaka[2], Yoshiaki Kon[3], Takafumi Hirata[4] (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 Hayashi[1], Takashi Mikouchi[2], Martin Bizzarro[3] (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 Isobe[1] (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 Miura[1] (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 Bui[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Tatsuro Adachi[2], Ippei Kitano[2], Masaaki Owada[3] (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 Osanai[1], Ippei Kitano[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Sinh Vuong Bui[1], Masayuki Komatsu[2] (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 Maila

*Tetsumaru Itaya[1], Hironobu Hyodo[2], Takeshi Imayama[2] (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 REHMAN[1] (1. Kagoshima University)

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

[R8-05] Sadanagaite in SiO_2 phase-bearing Sulu UHP eclogites

*Masaki ENAMI[1], Yui KOUKETSU[2], Katsuyoshi MICHIBAYASHI[2], Tomoki TAGUCHI[3] (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 Sarkar[1], Jun-ichi Ando[1], Akihiro Kano[3], Hirokazu Kato[3], Gautam Ghosh[2], Kaushik Das[1] (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 Das[1], Kalyanbrata Hatui[2], Anupam Chattopadhyay[2], Hikaru Sato[1] (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 YABUTA[1], Takao HIRAJIMA[1] (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 Yoshikawa[1], Kenji Asakura[1], Takao Hirajima[1] (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 Takasu[1], Fazle Md Kabir[2], Shunsuke Endo[1], Weimin Li[3] (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 TSUCHIYA[1], Masaoki Uno[1], Fajah Febiani Amanda[1], Diana Mandaleva[1], Fumiko Higashino[2] (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 Fujita[1], Michihiko Nakamura[1], Gregor Golabek[2], Marcel Thielmann[2], Philipp Eichheimer[2], Kentaro Uesugi[3] (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 Abe Abe[1], Keishi Okazaki[2], Ikuo Katayama[3], Kohei Hatakeyama[3], Yuya Akamatsu[3], 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 Kawakami[4], Anne-Sophie Bouvier[3], Lukas P Baumgartner[3] (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-H_2O system**

「発表賞エントリー」

*Hisamu Kasahara[1], Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (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 Netsu[1], Atsushi Okamoto[1], Nobuo Hirano[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (1. Tohoku Uni., Env.)

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

9:30 AM - 5:00 PM JST | 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

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

[S1P-01] Size-dependent residual pressure of fluid inclusion in mantle xenolith

*Yuuki Hagiwara[1], Junji Yamamoto[2] (1. Hokkaido Uni. Sci., 2. Hokkaido Uni. Museum.)

[S1P-02] In-situ observation of growth behaviors of Fe and Pt particles in a silicate melt

*Mayumi Mujin[1], Michihiko Nakamura[1], Megumi Matsumoto[1] (1. Tohoku Univ. Sci.)

[S1P-03] Reexamination of the relationship between Sambe–Ukinuno and Sakate tephras based on refractive indices and chemistry of tephra components

*Seiji Maruyama[1] (1. KFT)

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

9:30 AM - 5:00 PM JST | 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

[S2P-01] Kinetics of serpentinization constrained from olivine dissolution rate at hydrothermal conditions

*Ryosuke Oyanagi[1], tatsu kuwatani[1], katsuhiko suzuki[1] (1. JAMSTEC)

[S2P-02] Formation conditions of epidote in lower crustal olivine gabbros of the Oman ophiolite

*Yamato Tateishi[1], Toshio Nozaka[1] (1. Okayama Univ.)

[S2P-03] Experimental simulation of lower crust hydration: preferential plagioclase reaction in the plagioclase + clinopyroxene system

*Takayuki Nakatani[1], Michihiko Nakamura[2] (1. AIST, 2. Tohoku Univ., Sci.)

[S2P-04] Analysis of dehydration processes in atomic scale of hydrous minerals by neutron scattering and transmission electron microscopy

*Takuo Okuchi[1], Narangoo Purevjav[1], Yusuke Seto[2], Naotaka Tomioka[3], Kaoru Shibata[4], Takeshi Yamada[5] (1. Okayama Univ. IPM, 2. Kobe Univ., 3. JAMSTEC, 4. JAEA, 5. CROSS)

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

9:30 AM - 5:00 PM JST | 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

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

[R2P-01] Structural study of haüyne by single crystal X-ray diffraction experiment

*Shunichiro Nozokido[1], Takahiro Kuribayashi[1], Toshiro Nagase[2] (1. Tohoku Uni.Sci., 2. Tohoku Uni.Mus.)

[R2P-02] Preparation of Cs^{+} and Er^{3+} exchange forms of GTS-type Na titanosilicate and their cation distributions

*Keiko Fujiwara[1], Naomi Kawata[1], Akihiko Nakatsuka[1] (1. Yamaguchi Uni.Sci. and Tech. for Innov.)

[R2P-03] Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$)

*Ryutaro Ikeda[1], Atsushi Kyono[1] (1. Tsukuba Uni.Life and Environmental Sciences.)

[R2P-04] Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite

*Mitsuyoshi Kurita[1], Toshiro Nagase[1], Takahiro Kuribayashi[1], Hiroyuki Imai[2] (1. Tohoku Uni. Sci., 2. Kinseki zoukei studio)

[R2P-05] Synthesis and luminescence of Ce-doped merrillite

「発表賞エントリー」

*Shintaro Niiyama[1], Reiko Simura[2], Kazumasa Sugiyama[3] (1. Tohoku Univ. , 2. IMRAM, Tohoku Univ., 3. IMR, Tohoku Univ.)

[R2P-06] Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

*Ibuki Kinebuchi[1], Yoshinari Sano[1], Atsushi Kyono[1] (1. Univ Tsukuba. Life.)

[R2P-07] Mineralogical study on acicular magnetite exsolution in plagioclase

「発表賞エントリー」

*Ryo Sugaya[1], Masahiko Sato[1], Toshihiro Kogure[1] (1. Univ. Tokyo, Sci.)

[R2P-08] Possible amorphous mineral included in the Tsuchihashi sericite rock

*Koichi Takeuchi[1], Kazumasa KIsu[2], Seiichiro Uehara[3], Yoshihiro Kuwahara[4], Akira Ohwada[5], Masaharu Takebe[6] (1. Non, 2. Ceramic Research Center of Nagasaki, 3. Kyushu Univ. Sci., 4. Kyushu Univ. S. C. S., 5. AIST, 6. Tsuchihashi mining Co.)

[R2P-09] Synthesis Condition and Iron Valence in Vivianite

「発表賞エントリー」

*Kohei Chiba[1], Eriko Ohshima[2], Misaki Takahashi[3], Kazumasa Sugiyama[4] (1. NIT Ichinoseki Col., Adv. Chem. Eng., 2. NIT Ichinoseki Col., Dept. Eng. Fut. Innov., Div. Chem. Eng. & Bio., 3. NIT Ichinoseki Col., Dept. Chem. Eng., 4. Tohoku Univ., IMR)

[R2P-10] Growth of a solid solution crystal: selective adsorption and kink kinetics

*Masao Kitamura[1], Kiiko Katsuno[2], Toshiharu Irisawa[3] (1. Non, 2. Seikei Univ., 3. Gakushuinn Univ.)

[R2P-11] Growth process of low-symmetry trapiche emeralds

「発表賞エントリー」

*chihiro kaino[1] (1. Tohoku Uni. Sci.)

[R2P-12] Electronic state of pyrite structure

*Ruka Yoneyama[1], Fumiya NORITAKE[2,3] (1. University of Yamanashi,Eng., 2. University of Yamanashi, 3. RIKEN)

Poster presentation | R5: Extraterrestrial materials

9:30 AM - 5:00 PM JST | 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R5: Extraterrestrial materials

[R5P-01] TEM observations of a cosmic symplectite in the Acfer 094 meteorite

*Megumi Matsumoto[1], Akira Tsuchiyama[2,3], Akira Miyake[4], Naotaka Tomioka[5], Motoo Ito[5], Yu Kodama[6], Junya Matsuno[4], Masahiro Yasutake[2], Aiko Nakato[7], Kentaro Uesugi[8], Akihisa Takeuchi[8], Tsukasa Nakano[9], Epifanio Vaccaro[10] (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG/CAS, 4. Kyoto Univ., 5. JAMSTEC, 6. Marine Works Japan, 7. JAXA/ISAS, 8. JASRI/SPring-8, 9. GSJ/AIST, 10. NHM in London)

[R5P-02] Metamorphic temperature analysis of H chondrites: An attempt using revised Lindsley's pyroxene thermometer

*Ryo Uehara[1], Yoshihiro Kuwahara[2], Kazuhiko Shimada[4], Yoshihiro Nakamuta[3], Seiichiro Uehara[4], Taturo Adachi[5] (1. Kyushu Uni. ISGS., 2. Kyushu Uni. SCS., 3. Kyushu Uni. Mus, 4. Kyushu Uni. Sci, 5. Kyushu Uni. Arch)

Poster presentation | R8: Metamorphic rocks and tectonics

9:30 AM - 5:00 PM JST | 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R8: Metamorphic rocks and tectonics

[R8P-01] Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic

*Juliah Wangari Muriuki[1], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Martin Svojtka [3] (1. Okayama Uni., 2. Kyoto Uni. , 3. Institute of Geology CAS)

[R8P-02] Estimation of P-T path of garnet peridotite from a northeastern part of the Su-Lu region, China

「発表賞エントリー」

*Yu Oikawa[1,2], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Tomoaki Morishita[3], Akihiro Tamura[3], Hajime Yamane[1] (1. Okayma Uni. Sci., 2. Kyoto Uni. Sci., 3. Kanazawa Uni. Sci.)

[R8P-03] Impure metacherts, archives of multi-stage mineral growth, portray the shallower part of the subduction zone

*Wataru J YABUTA[1], Takao HIRAJIMA[1] (1. Grad. Sci., Kyoto Univ.)

[R8P-04] Petrography of greenschist rock collected near the southwest border of Munakata City, Fukuoka Pref., Japan

*Shunji TOJO[1] (1. Fukuoka Kyoiku Daigaku)

[R8P-05] Chemical compositions of metamorphic rocks in the Kanzaki City, Saga Prefecture.

*Tomoharu Miyamoto[1] (1. Kyushu University)

[R8P-06] Microstructure in Pyroxene of Ultra-High Temperature Metamorphic Rock from Antarctica

*Shoichi Toh[1], Tomoharu Miyamoto[2] (1. Fukuoka Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. Sci.)

[R8P-07] Metamorphic textures and garnet REE variation of Fe-Al-rich granulites in north Sør Rondane Mountains, East Antarctica

*Sotaro Baba[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Tomokazu Hokada[3], Tatsuro Adachi[2], Tsuyoshi Toyoshima[4] (1. University of the Ryukyus, Edu., 2. Kyushu University, 3. National Institute of Polar Research, 4. Niigata University, Sci)

[R8P-08] **Corundum and quartz inclusions in pelitic gneiss from Sør Rondane Mountains, East Antarctica**

*Tomokazu Hokada[1,2], Yasihito Osanai[3], Nobuhiko Nakano[3], Tatsuro Adachi[3], Tsuyoshi Toyoshima[4], Sotaro Baba[5] (1. National Institute of Polar Research, 2. The Grauate University of Advanced Studies, 3. Kyushu University, 4. Niigata University, 5. University of the Ryukyus)

[R8P-09] **Geology of the eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: Missing link to Sri Lanka**

Kazuyuki Shiraishi[1], *Tomokazu Hokada[1,2], Yoshikuni Hiroi[1,3], Yoshihumi Nogi[1,2], Yoichi Motoyoshi[1,2] (1. National Institute of Polar Research, 2. The Grauate University of Advanced Studies, 3. Chiba University)

[R8P-10] The variation of detrital zircon provenance for crystalline schists of the Sangun metamorphic belt in the northern Kyushu, Southwest Japan

*Ippei Kitano[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1] (1. SCS, Kyushu Univ.)

[R8P-11] Pressure–temperature condition of pelitic gneisses from the Mutis Metamorphic Complex, Timor Island, Indonesia

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Nugroho Imam Setiawan[2] (1. Kyushu University, 2. Universitas Gadjah Mada)

[R8P-12] Reaction microstructures in corundum-bearing granulite at western boundary of Eastern Ghats Belt, India

「発表賞エントリー」

*Fumihiko Sato[1], Kaushik Das[1] (1. Hiroshima Uni. Grad. Sci.)

[R8P-13] Deformation characteristics of constituent material of slickenside

*Jun-ichi Ando[1], Naotaka Tomioka[2], Hiroyuki Kagi[3], Takehiro Hirose[2] (1. Hiroshima Univ., 2. Kochi Core Center, 3. Univ. Tokyo)

[R8P-14] Deformation characteristics of antigorite serpentinites exposed at Sasaguri area, Fukuoka Prefecture

*Yuki Iwasaki[1], Jun-ichi Ando[1], Das Kaushik[1], Dyuti Prakash Sarkar[1], Seiichiro Uehara[2], Hiroaki Ohfuji[3] (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. Kyushu Uni. , 3. Ehime Uni.)

[R8P-15] Constraint on the low-temperature mylonite and phyllonite formations along the Median Tectonic Line in the Oshika district, Nagano

*Yoshihiro Nakamura[1] (1. AIST)

[R8P-16] Polymetamorphic history of the Oki Gneiss inferred from monazite and xenotime CHIME petrochronology

*Shunsuke Endo[1], Hiroshi Yoshida[1] (1. Shimane Univ.)

Various Committees

12:00 PM - 12:30 PM JST | 3:00 AM - 3:30 AM UTC | A-117 East zone 1

GKK編集委員会

Various Committees

1:00 PM - 1:30 PM JST | 4:00 AM - 4:30 AM UTC | A-117 East zone 1

JMPS編集委員会

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 Ia 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 Yoshimi[1], Toshiro Nagase[2], Takahiro Kuribayashi[1], Hiroyuki Imai[3], Toshiro Okada[4] (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 Kanzaki[1] (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-Li_2O-V_2O_5 Flux System

*Toshiya Abe[1] (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 Noritake[1] (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 Sugiura Sugiura[1], Yasuko Saito[2], Takashi Endo[2], Yoji Makita[1] (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 Ryoichi[1], Masahiko Sato[2], Masashi Ushioda[3], Yujiro Tamura[4], Shinji Yamamoto[4] (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 Yamanaka[1], Takanori Hattori[2], Kazuki Komatsu[3], Yuki Nakamoto[4], Saqib Rahman[1], Lin Wang[1], Ho-kwang Mao[1], Naohisa Hirao[5] (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 $Al_2Si_2O_7$ phase synthesized at the condition of 15.5 GPa and 2473 K**

*Takahiro Kuribayashi[1], Youmo Zhou[2], Hiroaki Ohfuji[2], 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 Sakaguchi[1], Noriko Saito[1], Taku Suzuki[1] (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 Irifune[1], Keisuke Mitsu[1], Akihiro Yamada[2] (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 Yoshiasa Yoshiasa[1], Makoto Tokuda[2], Masaaki Misawa[3] (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_{lower} / dr_{upper} は 0.5-2.5 の範囲でばらつきがある。dr_{lower} / dr_{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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 tp 500 ºC 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 ºC, 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、粉砕等で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 ºC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。

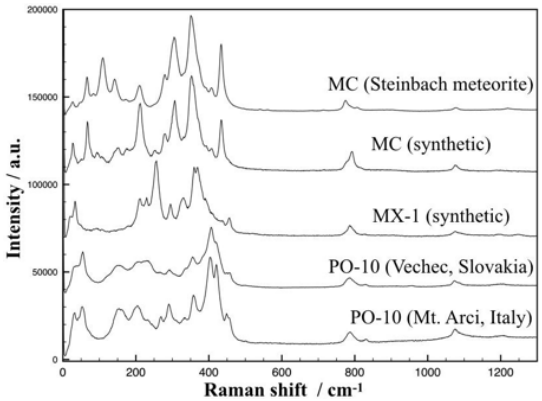


Figure 1. Raman spectra of MC, MX-1 and PO-10

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 ºC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 ºC)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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ 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 $CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ Flux System

Toshiya Abe* (Yamaguchi Univ.)

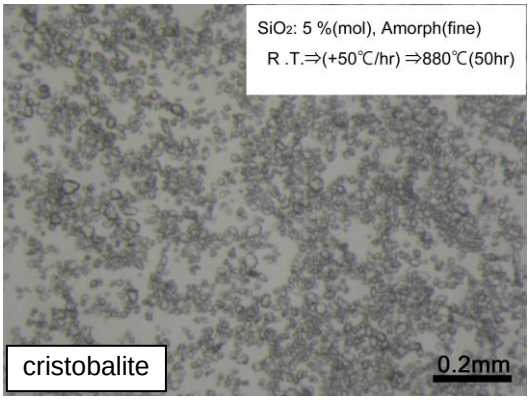
数年来, フラックス法によるシリカ結晶の合成を行ってきた．小サイズではあるが，両錐六角柱状結晶や柱面が存在しない六角両錐結晶の石英を得られるようになっている．

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， $CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ 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，大気圧下空気中で所定の加熱, 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 SiO_2 を回収した．回収物の秤量も，SiO_2-Flux 相関係(リキダス)把握のため行った．

$CaO-MgO-Li_2O-V_2O_5$ 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 ($Na_2O \cdot nSiO_2$, 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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)、槇田　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 $CaHPO_4·2H_2O$ (DCPD)-$(NH_4)_2HPO_4$ 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 HPO_4–OH layered structure in the OCP unit lattice. The Na concentration increased hyperbolically and was incorporated into the OCP unit lattice, resulting in a HPO_4–OH layered structure in the OCP unit lattice. By contrast, Li, K, and Rb resulted in the HPO_4–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、バイオミネラリゼーション

*杉浦　悠紀: yuki-sugiura@aist.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Ushioda[3], Yujiro Tamura[4], and Shinji Yamamoto[4] (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科学種分析を行う．

≪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．

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$Mn_{3-x}Fe_xO_4$ 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 Rahman[1]、 Lin Wang[1]、Ho-kwang Mao[1]、(1. 北京高圧科学研究中心、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 $Mn_{3-x}Fe_xO_4$ 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$Mn_{3-x}Fe_xO_4$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、Fe^{2+}, Fe^{3+}, Mn^{2+}, Mn^{3+}の spinel と post-spinel 構造の２site 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。Mn_2FeO_4 (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。$MnFe_2O_4$ (Cubic $Fd3m$) と Mn_2FeO_4 (tetragonal $I4_1/amd$) は post-spinel 相 ($CaMn_2O_4$-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こと、Mn^{3+}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 AB_2O_4 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 $Mn_{3-x}Fe_xO_4$ 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 Mn_2FeO_4 ($I4_1/am'd'$ 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 Fe^{2+} and Fe^{3+} 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:　$Mn_{3-x}Fe_xO_4$ solid solution、 High-pressure study, Charge transfer、 Magnetic structure transition, Neutron diffraction study

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

15.5 GPa, 2473 K で合成された新規 $Al_2Si_2O_7$ 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・入舩徹男(愛媛大・GRC)

Single-crystal synchrotron X-ray diffraction study on a new $Al_2Si_2O_7$ 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

$A_2B_2O_7$ 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 $Yb_2Si_2O_7$ 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、$Al_2Si_2O_7$ の組成を持つ高圧合成相が、15.5 GPa, 2473K の条件で合成された。この新規合成相の結晶学的情報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 $Al_2Si_2O_7$ 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 x 40 x 40 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 Å 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) Å, b = 7.0971(13) Å, c = 6.6725(7) Å, α = 103.455(12)°, β = 99.087(11)°, γ = 60.548(10)°, V = 281.32(8) $Å^3$ であり、放射光(64 反射使用)では、a = 7.026 Å, b = 7.095 Å, c = 6.671 Å, α = 103.47°, β = 99.12°, γ = 60.55°, V = 281.23 $Å^3$ 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、$2\theta_{max}$ = 60°の $h\pm$, $k\pm$, $l+$ 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 $P\bar{1}$ 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

$Al_2Si_2O_7$ 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[$Si1O_4$]は、等価な四面体[$Si1O_4$]'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 $R_2Si_2O_7$ 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, $Al_2Si_2O_7$, new high-PT phase

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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

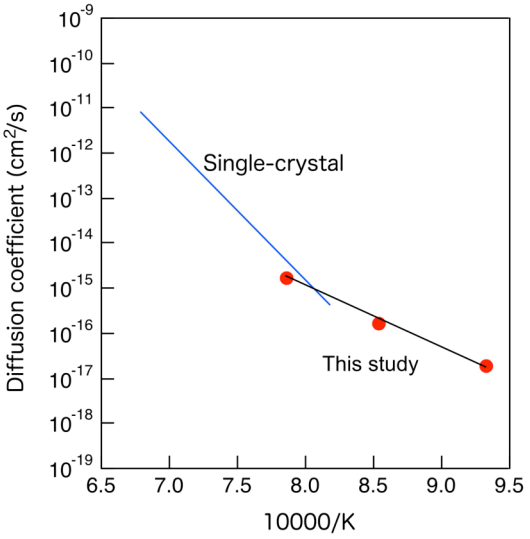
近年、酸化物半導体ガスセンサの応用の広がりでガスセンサの耐水蒸気性の向上、ガス選択性の向上、動作の省電力化、小型化が必要になってきている。そのため、これまでの粉末膜ではなくスパッタ法による薄膜化が必要となってきている。しかし、元々良好な酸化物半導体薄膜になってしまう ZnO, SnO_2, In_2O_3 薄膜をガスセンサに応用するための大きな技術課題はスパッタ法に利用するセラミックスターゲットにある。SnO_2 と In_2O_3 では緻密かつ高抵抗でスパッタ法に耐えうるセラミックスターゲットはない。本研究では緻密な In_2O_3 多結晶体を合成し、デバイス寿命に関連する酸素欠陥評価を行っ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

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、粉砕した。この粉末を用い酸素気流中で 1300 - 1400℃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。



@Japan Association of Mineralogical Sciences.

透明ナノ多結晶ヒスイの超高圧合成に向けて

入舩 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、高い靭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圧合成法により、様々な高圧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

超高圧合成には、GRC設置のマルチアビル装置を用いた。出発物質として、酸化物・炭酸塩の混合物を電気炉で溶融・急冷して得られた $NaAlSi_2O_6$ 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℃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℃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℃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.超高圧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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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（熊大），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 metalic 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].

大分県向野鉱山で発見された 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、同じ元素間で電子の供与・授与が起こり、化学結合論的にも極めて興味深い。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]。

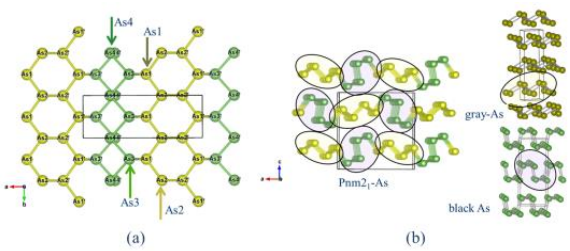


図 1. pararsenolamprite (*Pnm2*$_1$-As)と他のヒ素結晶相との構造比較[2]。

[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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Ib 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 Yasutake[1], Epifanio Vacarro[2], Kentaro Uesugi[3], Akihisa Takeuchi[3], Tsukasa Nakano[4], 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 Iemoto[1], Yusuke Seto[1], Akira Miyake[2] (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 Kimura[1] (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 Tsuchiyama[1], Momoko Hashino[2], Akira Kitayama[2], Akira Miyake[2] (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 Daiki[1], Takashi Mikouchi[2] (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 Takahashi[1], Tomoki Nakamura[1], Michael Zolensky[2] (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 H_2^+-irradiated corundum simulating space weathering

*Yohei Igami[1], Shunsuke Muto[1], Masahiro Ohtsuka[2], Yuta Yamamoto[1], Aki Takigawa [3], Akira Miyake[3] (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 Nakamura[1], Cateline Lantz[2], Shiho Kobayashi[1], Nakauchi Yusuke[3], Amano Kana[1], Rosario Brurnetto[2], Megumi Matsumoto[1], Miki Takahashi[1], Moe Matsuoka[3], Takaaki Noguchi[4], Toru Matsumoto[1],

Akira Miyake[5], Akira Tsuchiyama[6], Mike Zolensky[7] (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 Enju[1], 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 Imae[1] (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 Takenouchi[1], Hirochika Sumino[2], Karin Shimodate[2], Keisuke Nagao[2], 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. Vacarro (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と持ち、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、一方向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ことが考えられる。

参考文献：[1] Bradley (2014) Treat. Geochemi., 1, 287-208. [2] Leroux et al. (2015) GCA, 170, 247-265. [3] Vacarro (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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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、前者はマッシブ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-6480LAII)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。

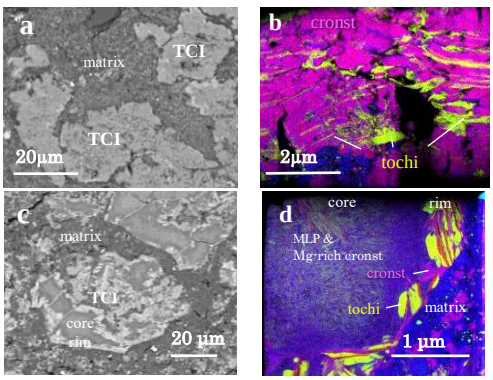


図1. Murchison (a,b)及びCold Bokkeveld (c,d)に含まれる代表的なtype-II TCIのSEMによるBEIと、STEMによるEDX元素マップ(赤:Fe, 緑:S, 青:Si)。

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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は最大のグループで、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 H_2O 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 CO_2 に富むと考えられ、流体の元となった氷は CO_2 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 cm^2, ~1×1 mm^2 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 μm^2）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（$Ca_{47}Mg_{44}Fe_4Mn_5$）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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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（$Fs_{11-13}Wo_{42-45}$）、低 Ca 輝石（$Fs_{27-29}Wo_{2-3}$）、斜長石（$An_{45-54}Or_{1-2}$）、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（$Fs_{9-13}Wo_{37-44}$）、低 Ca 輝石（$Fs_{21-24}Wo_{2-12}$）、斜長石（$An_{21-57}Or_{1-8}$）、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、Tafassaset 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 1.0×2.0cm である。DI の大部分は 10μm 以下の極細粒な olivine（$Fa_{23.3\pm0.4}$）、low-Ca pyroxene（$Fs_{2.6\text{-}22.2}$, $Wo_{0\text{-}49.4}$）、albite（$Ab_{81.8\text{-}99.9}$）、taenite、pyrrhotite で構成され、少量の serpentine と saponite も含む。olivine の組成は母岩（$Fa_{22.9\pm2.4}$）と近い組成を示している。一方で、pyroxene の組成は母岩（$Fs_{13.4\text{-}32.6}$, $Wo_{0.3\text{-}5.2}$）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 tetrataenite 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 100μm 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も、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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(α-Al_2O_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/cm^2 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。

【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.

Key words: Corundum, space weathering, hydrogen analysis, electron microscopy/spectroscopy
*Corresponding author: y-igami@nagoya-u.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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. Brurnetto (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. Brurnetto (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、2.7μm 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、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成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。

Keywords: C-type asteroid, Space weathering
*Corresponding author: tomoki@m.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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、中国科学院広州地球化学研究所）

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)パターンの取得を行った。54 時間反応させたのち窒素雰囲気下にて乾燥させ、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、非常に細粒な粒子の集合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.

Key words: GEMS, CP-IDPs, amorphous silicate, hydrothermal alteration
*Corresponding author: enju@fc.ritsumei.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 CuKα線を用いた。測定域は 2θ=3-75º (θは Bragg 角)、長手制限スリットは 5mm、発散角は(1/6)ºとした。Kβ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。2θ>~30ºを用いた。

結果：(かんらん石) 測定した L6 コンドライトの tanθ-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 以上の比較的良い相関係数を示す。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か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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R5-11

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）を用いた相同定を行った。

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ると考え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 億年間にお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 Sato[1], Kazuhito Ozawa[1] (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 Akizawa[1], Kazuhito Ozawa[2], Wallis Richard Simon[2], Akihiro Tamura[3], Tatsuhiko Kawamoto[4], Atsushi Yasumoto[5], Chihiro Ohshima[1], Akira Ishikawa[6], Tetsu Kogiso[7] (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 Yamazaki[1], Tetsuo Kawakami[1], Fumiko Higashino[2] (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 Hamada[1], Estelle F. Rose-Koga[2], Kenneth T. Koga[2], Takayuki Ushikubo[1], Kenji Shimizu[1], Hideo Harada[3], Yoshiaki Yamaguchi[3] (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 Ishibashi[1], Oida Ryoya[1], Atsushi Yasuda[2], Natsumi Hokanishi[2], Tatsuro Chiba[3] (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 Matsumoto[1] (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 pumiceunder low vapor pressure

「発表賞エントリー」

*Hiroki Yasukawa[1], Mayumi Mujin[1], Michihiko Nakamura[1], Shizuka Otsuki[2] (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 Okumura[1], Akira Miyake[1] (1. Kyoto Uni. Sci)

S1-01

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: Lithsosphere-Asthenosphere boundary, geobarometry, spinel peridotite xenolith, wet solidus

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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)，小木曽哲(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 km^2 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，〜1 μm 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

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 CO_2 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．

Keywords: Native iron, carbonate, carbonatitic metasomatism, garnet
*Corresponding author: akizawa@aori.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-03

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 桁しか違わない[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℃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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-04

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-Koga[2]，Kenneth T. Koga[2]，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-Koga[2], K. T. Koga[2], T. Ushikubo[3], K. Shimizu[3], H. Harada[2], Y. Yamaguchi[2]
([1]Institute for Marine Geodynamics, JAMSTEC; [2]Laboratoire Magmas et Volcans, France; [3]Kochi Institute for Core Sample Research, JAMSTEC; [4]Shinshu 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 の部分溶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~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~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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-05

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 Survay)

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 SiO_2 含有量がおよそ 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．そこで本研究出は，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，SiO_2 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 Al_2O_3 と CaO に富み，FeO に乏しい傾向がある．MI の K_2O/TiO_2 比はホスト鉱物種によらず，～0.36 で一定である． また，CaO/Al_2O_3 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，SiO_2＜～56wt.%のものと同等である．SiO_2＞56wt.%の噴出物では，SiO_2 の増加に伴って K_2O/TiO_2 比が増加し，CaO/Al_2O_3 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 SiO_2＜～56wt.%であり，後により SiO_2 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1-06

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SiO_2=68–69 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 μm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ると，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**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Mujin[1] Michihiko Nakamura[1] Shizuka Otsuki[2]

(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 μm 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℃、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℃2MPa、30 分で晶出が確認できた。ウルトラナノライトは 800℃、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℃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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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と考えられている[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 Mineralo -gist*, **68**, 477-493.

Keywords: pyroxene, nanolite, Shinmoedake, TEM, microtexture
*Corresponding author: okumura@kueps.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Okamoto[1], Takahiro Kuribayashi[1], Toshiro Nagase[2] (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)O_3: on the average and local structures
「発表賞エントリー」

*Ginga Kitahara[1], Akira Yoshiasa[1], Tsubasa Tobase[2], Makoto Tokuda[3], Kazumasa Sugiyama[3] (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 Kyono[1], Shubhi Arora[1] (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 Tokuda[1], Akira Yoshiasa[2], Seiichiro Uehara[3], Ritsuro Miyawaki[4], Koichi Momma[4], Kazumasa Sugiyama[1] (1. Tohoku Uni. 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 Nakamura[1], Kazumasa Sugiyama[1], Toshiro Nagase[2] (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 Kawata[1], Keiko Fujiwara[1], Akihiko Nakatsuka[1] (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 $Zn_4[Si_2O_7](OH)_2 \cdot H_2O$ 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 *Imm*2 で、SiO_4 四面体と $ZnO_3(OH)$ 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 *Pnn*2 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(60×70×80 μm^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**)。

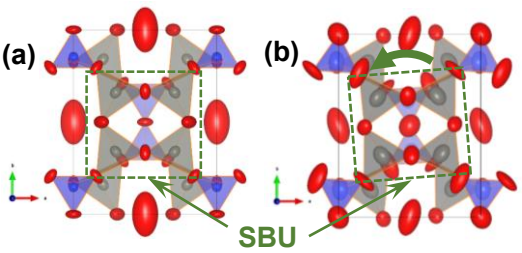


図 **1**. **(a)**常圧と**(b)**3.01 GPa における構造モデル [青:Si, 灰:Zn, 赤:O]

Keywords: Hemimorphite, Pressure-induced phase transition, Secondary building unit, Satellite reflection
*Corresponding author: keitaro.okamoto.p3@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Loparite (Na, REE, Ca)(Ti, Nb)O_3 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)O_3: 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 ($Na_{0.57}$, $REE_{0.31}$, $Ca_{0.07}$)($Ti_{0.75}$, $Nb_{0.25}$)O_3 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 ABX_3 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 ABO_3 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)TiO_3 の結晶構造については直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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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*-3*d*. In two katoites with chemical formulas, $Ca_3Al_2(SiO_4)_{0.57}(H_4O_4)_{2.43}$ and $Ca_3Al_2(SiO_4)_{0.69}(H_4O_4)_{2.31}$, 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).

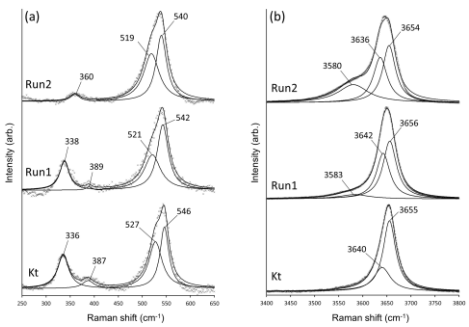


Fig. 1 Raman spectra of katoite (Runs 1 and 2) and Si-free katoite (Kt).

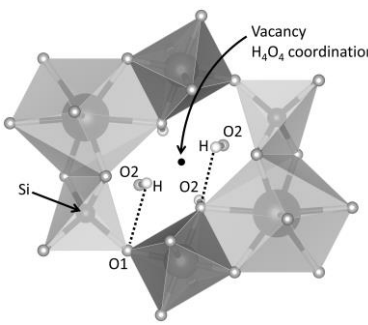


Fig. 2 Local structure around SiO_4 tetrahedron and H_4O_4 tetrahedral interstice.

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

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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、空気中で 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, β = 90.9597(7)°, 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 β = 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。

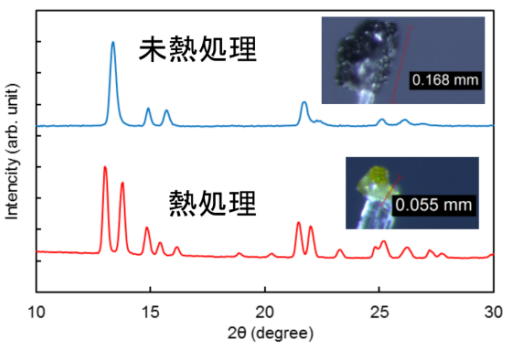


Figure 1. Powder X-ray diffraction patterns for thermally untreated (upper) and treated (lower) by Gandolif method (Mo $K\alpha$).

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

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ナミビア産ラブンツォ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　ラブンツォ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, □, B = K, C = Ba, K, H_2O, □, D = Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg^{2+}, Zn^{2+}, □）で表され，単斜晶系(空間群 *C*2/*m*, *Cm*)または直方晶系(空間群 *Pbam*)の対称性を示す(Chukanov *et al*. 2002)．また一部のラブンツォフ石では *I*2/*m* の対称性を示すものが報告されており，このようなラブンツォフ石の格子定数は *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 *I*2/*m* の対称性を示すラブンツォフ石について 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 *C*2/m の対称性を示すラブンツォ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ツォフ石の鉱物学的な記載からラブンツォ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 *C*2/*m* の対称性を示し，格子定数は a = 14.4109 Å, b = 13.9182 Å, c = 7.8214 Å, β = 117.043°が得られた．

空間群 *C*2/*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，ラブンツォ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 lemmlenite-labunstovite 固溶体の中間組成をもつラブンツォ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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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*、藤原惠子、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ことが有効である。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。MoKα 線（λ = 0.71069 Å）を用い、4 軸型 X 線回折計により $2° \leq 2\theta \leq 100°$ 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。得られた回析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 = 0.0374～0.0436、wR = 0.0240～0.0294 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Ib 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 Ono[1], Atsushi Takenouchi[2], Takashi Mikouchi[3], Akira Yamaguchi[2] (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 Kanemaru[1], Akira Yamaguchi[1,2], Naoya Imae[1,2], Hirotsugu Nishido[3] (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 Miyahara[1], Akira Yamaguchi[2], Eiji Ohtani[3] (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 Shikina[1] (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 Tomioka[1], Masahiro Kayama[3], Chang Yu [3], Hirotsugu Nishido[4], Kaushik Das[2], Auriol Rae[5,6], Ludovic Ferrière[7], Sean Gulick[8], Joanna Morgan[5], 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 Okuchi[1], Narangoo Purevjav[1], Norimasa Ozaki[2], Yusuke Seto[3], Toshinori Yabuuchi[4] (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 Ejima[1], Azumi Yoneyama[1], Masahide Akasaka[2], Yoshiaki Kon[3], Takafumi Hirata[4] (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 Hayashi[1], Takashi Mikouchi[2], Martin Bizzarro[3] (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 Isobe[1] (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 Miura[1] (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4 mm 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ィ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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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), 今栄 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マイトと石英の量比に基づき、Si-I(トリディマイト：＞ 90%)、Si-II(トリディ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/cm^3)から相転移した石英(2.65 g/cm^3)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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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、シャーゴッタ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 つのシャーゴッタイト（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、CO_2-H_2 ガス混合炉中（logfO_2=IW+2）で 900℃（1、4、8、12、24、168 時間）、1000℃（1 時間）および 800℃（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 JXA 8900L）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℃、24 時間および 168 時間、900℃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℃、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℃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℃で 4 時間加熱した試料と 1000℃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℃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（Na_2O: ~6.5 wt%、K_2O: ~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℃、24 時間および 900℃、1 時間加熱した実験で既に再結晶を示し、900℃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℃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℃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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Kaushik[1], Auriol Rae[5,6], Ludovic Ferrière[7], Sean Gulick[8], Joanna Morgan[5], IODP-ICDP expedition 364 scientists
([1]広島大学，[2]JAMSTEC，[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・ルードヴィッヒ大，[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 Kayama[3], Yu Chang[3], Hirotsugu Nishido[4], Kaushik Das[1], Auriol Rae[5,6], Ludovic Ferrière[7], Sean Gulick[8], Joanna Morgan[5] and the IODP-ICDP Expedition 364 scientists ([1]Hiroshima University, [2]JAMSTEC, [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)

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 μm^2). 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 ナランゴー[1], 尾崎 典雅[2], 瀬戸 雄介[3], 薮内 俊毅[4]
([1]岡山大惑星研, [2]大阪大院工, [3]神戸大院理, [4]JASRI)

Laser-shock compression experiments of forsterite coupled with XFEL diffraction

Takuo Okuchi*[1], Purevjav Narangoo[1], Norimasa Ozaki[2], Yusuke Seto[3] and Toshinori Yabuuchi[4]
([1]Okayama Univ., [2]Osaka Univ., [3]Kobe Univ., [4]JASRI)

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 it's a-axis by irradiation of strong laser beam with 532 nm wavelength and with 4 nanosconds 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.

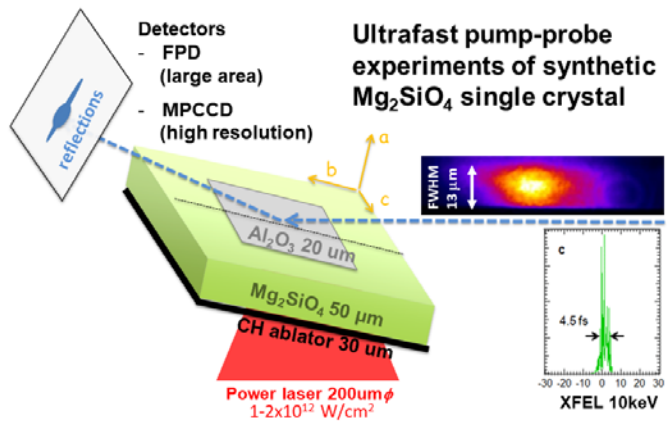


Fig. Experimental Setup

By anayzing 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.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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離溶状の産状で、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R5-19

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 μm 程度から 100 μm 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～1 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（Mg#=36）は、細粒部（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 Fo_{59-0} であり、細粒部では 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 Mg#=0-44、細粒部では 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（$Fo_{\leqq 64}$）。これらのカンラン石は、バルク組成と平衡なカンラン石 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 wt%以下）や、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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溶融し，その後の急冷によって溶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 までよく撹拌されており，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）を用いた溶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 100μm 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 1600ºC 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考えられる。微小隕石形成過程においては，溶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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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、高温高圧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溶融急冷での中断（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)「衝撃波ﾊﾝﾄﾞﾌﾞｯｸ」(ｼｭﾌﾟﾘﾝｶﾞｰﾌｪｱﾗｰｸ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*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Bui[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Tatsuro Adachi[2], Ippei Kitano[2], Masaaki Owada[3] (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 Osanai[1], Ippei Kitano[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Sinh Vuong Bui[1], Masayuki Komatsu[2] (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 Maila

*Tetsumaru Itaya[1], Hironobu Hyodo[2], Takeshi Imayama[2] (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 REHMAN[1] (1. Kagoshima University)

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

[R8-05] Sadanagaite in SiO_2 phase-bearing Sulu UHP eclogites

*Masaki ENAMI[1], Yui KOUKETSU[2], Katsuyoshi MICHIBAYASHI[2], Tomoki TAGUCHI[3] (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 Sarkar[1], Jun-ichi Ando[1], Akihiro Kano[3], Hirokazu Kato[3], Gautam Ghosh[2], Kaushik Das[1] (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 Das[1], Kalyanbrata Hatui[2], Anupam Chattopadhyay[2], Hikaru Sato[1] (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 YABUTA[1], Takao HIRAJIMA[1] (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 Yoshikawa[1], Kenji Asakura[1], Takao Hirajima[1] (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 Takasu[1], Fazle Md Kabir[2], Shunsuke Endo[1], Weimin Li[3] (1. Shimane Univ., 2. Fujii Consulting & Associates, 3. Jiling Univ. Chaina)

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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・常磐井(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℃）に達しているとみなしている．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溶融が認められる．従って，大島変成岩は部分溶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±1.2〜108±1.4Ma 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）とも一致する．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)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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ラ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。この種の問題を知りながら、ドラマイラ岩体（1984 年にコース石が発見され世界初超高圧変成岩体）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圧変成岩(UHP)ユニット（ピーク P-T- t : P=4.2 GPa, T=730℃, 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℃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 ℃) や青色片岩相 (T=ca.400 ℃) 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℃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 ユニットの上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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 <110> {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

SiO_2 相を含む蘇魯超高圧エクロジャイト中に産する定永閃石

榎並正樹*（名古屋大）・纐纈佑衣・道林克禎（名古屋大・院環境）・
田口知樹（京都大・院理）

Sadanagaite in SiO_2 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 SiO_2 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， SiO_2 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・蘇魯超高圧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）．

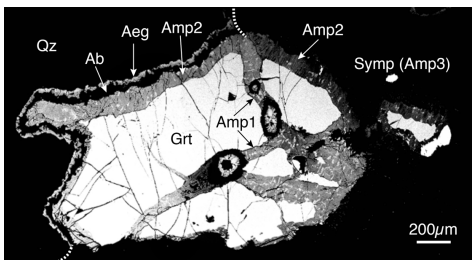


図１：Amp と Grt, Qz および Symp の組織を示す BSE 像.

【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 $[(Si/Al)_{Amp}/(Si/Al)_{Grt}]$ 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 thus 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°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°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±10°C) and MBT (262±30°C), implying a depth difference of ~4km between the two thrusts, considering standard continental geothermal gradient of 25°C /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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Hatui[2], Anupam Chattopadhyay[2], Hikaru Sato[1]
([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 Erinpura 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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). Tumiati 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 Tumiati 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 form the Yaeyama metamorphic rocks

Masahiro Yoshikawa*, Kenij 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)や藿石が認められ，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℃前後、Ⅲ帯で 450℃前後、Ⅳ帯で 450℃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：

$$6Cal + 5Tlc + 4SiO_2 = 3Act + 6CO_2 + 2H_2O$$

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℃ 4~8kbar の条件では XCO_2=0.02~0.08 で反応が進行することがわかった。400℃、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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., Chaina)

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圧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℃, 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 ℃, 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Ia 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 TSUCHIYA[1], Masaoki Uno[1], Fajah Febiani Amanda[1], Diana Mandaleva[1], Fumiko Higashino[2] (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 Fujita[1], Michihiko Nakamura[1], Gregor Golabek[2], Marcel Thielmann[2], Philipp Eichheimer[2], Kentaro Uesugi[3] (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 Abe Abe[1], Keishi Okazaki[2], Ikuo Katayama[3], Kohei Hatakeyama[3], Yuya Akamatsu[3], 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 Kawakami[4], Anne-Sophie Bouvier[3], Lukas P Baumgartner[3] (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-H_2O system

「発表賞エントリー」

*Hisamu Kasahara[1], Masaoki Uno[1], Atsushi Okamoto[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (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 Netsu[1], Atsushi Okamoto[1], Nobuo Hirano[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1] (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., Okumuma, 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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，高温高圧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圧発生装置を用い，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 CO_2/H_2O 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–H_2O 系の試料の計算結果は Qtz–H_2O–(NaCl)系の実測値と，Qtz–H_2O–CO_2 系の計算結果は Cal–H_2O 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Okazaki[2], Ikuo Katayama[3], Kohei Hatakeyam[3], Yuya Akamatsu[3], 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（マルチセンターコアロガー）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度、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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、拡散係数が大きいため [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 ºC, 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 ºC 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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

$MgO-H_2O$ 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 $MgO-H_2O$ system

Hisamu Kasahara*, Masaoki 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 φ = ~ 0.5 %, 10~15 %の 2 種類を用意した。流体は H_2O 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、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様に反応し、$Mg(OH)_2$ 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 $< 5.6 \times 10^{-20} m^2$ から $\sim 3.0 \times 10^{-17} m^2$ 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。

Keywords : hydration, reaction-induced fracturing, permeability

*Corresponding author:h.kasahara@geo.kankyo.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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 Netsu[1], Atsushi Okamoto[1], Nobuo Hirano[1], Masaoki Uno[1], Noriyoshi Tsuchiya[1]

[1]Graduate 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ス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 ℃、38 - 40 MPa で、実験は 2 - 6 日間行った。岩石はアイスランド玄武岩、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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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

Fri. Sep 20, 2019 9:30 AM - 5:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

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

[コアタイム] 12:00〜14：00

[S1P-01] Size-dependent residual pressure of fluid inclusion in mantle xenolith

*Yuuki Hagiwara[1], Junji Yamamoto[2] (1. Hokkaido Uni. Sci., 2. Hokkaido Uni. Museum.)

[S1P-02] In-situ observation of growth behaviors of Fe and Pt particles in a silicate melt

*Mayumi Mujin[1], Michihiko Nakamura[1], Megumi Matsumoto[1] (1. Tohoku Univ. Sci.)

[S1P-03] Reexamination of the relationship between Sambe–Ukinuno and Sakate tephras based on refractive indices and chemistry of tephra components

*Seiji Maruyama[1] (1. KFT)

S1P-01

なぜマントル捕獲岩中の流体包有物は鉱物種やサイズに依存して異なる残留圧力を持つのか？

萩原雄貴（北海道大・院理），山本順司（北海道大・総博）

Size-dependent residual pressure of fluid inclusion in mantle xenolith

Yuuki Hagiwara* (Hokkaido Univ. Sci), Junji Yamamoto (Hokkaido Univ. Museum)

In many geological settings, density of fluid inclusions has been studied for ascertaining the depth provenance of mantle xenolith. However, during laboratory experiments and exhumation processes, the initial density of a fluid inclusion is overwhelmed by various confounding factors. To elucidate re-equilibration processes of fluid inclusion, we investigated the relation among fluid density, inclusion size, and mineral species.

流体・メルト包有物の CO_2 濃度や密度はマグマ供給系の構造や，岩石の由来深度，噴火前のマグマの揮発性成分濃度の推定に利用されてきた．包有物がホスト鉱物に捕捉された時の初期情報は弾塑性変形や脆性破壊，流体の拡散，流体とホスト鉱物間の反応などにより，地表への露出過程や実験中に上書きされる可能性がある．実際，鉱物種や包有物の径に依存した流体の組成や圧力の系統的変化が報告されている．しかし，マントル捕獲岩中の流体包有物の研究は限られている．

そこで本研究では，包有物からマントル流体の情報をより正確に復元するために，マントル捕獲岩中の流体包有物の残留圧力を測定し，ホスト鉱物種や包有物の径との関係を調査した．流体の圧力は CO_2 のラマンスペクトルの 2 つの主なピークの波数差が圧力に依存することを利用した．また，流体包有物のサイズはデジタル顕微鏡で輝度の差から抽出した．その結果以下の 3 つの知見を得た．

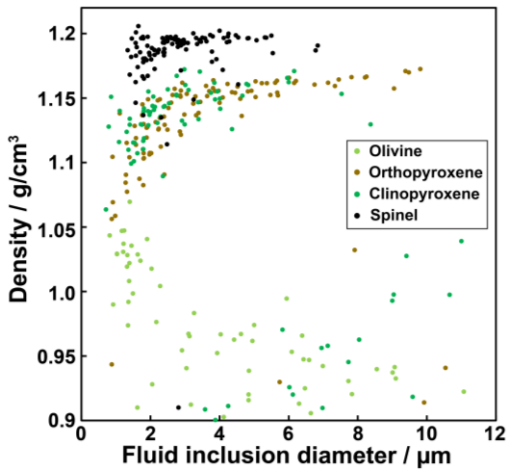


図 1 流体包有物の密度のサイズ依存性.

1) 流体圧はスピネル>直方輝石=単斜輝石>かんらん石の順で高圧を保持している．

2)スピネル・単斜輝石・直方輝石の残留圧力は包有物の径が小さい程低圧になる．

3) 逆に，かんらん石の残留圧力は包有物の径が小さい程高圧になる．

この傾向は，包有物―ホスト鉱物系の熱弾性平衡や脆性破壊モデルでは説明できない (Zhang 1998; Campione 2018)．従って，岩石の露出過程で塑性変形や流体の拡散により流体圧に関する初期情報は上書きされる．

Key words: Fluid inclusion, Raman spectroscopy, Geobarometer, Mantle xenolith, Carbon dioxide

*Corresponding author: hagi@eis.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1P-02

珪酸塩メルト中での金属粒子の結晶成長その場観察

無盡真弓*，中村美千彦，松本恵（東北大・地学）

In-situ observation of growth behaviors of Fe and Pt particles in a silicate melt

Mayumi Mujin*, Michihiko Nakamura, Megumi Matsumoto (Tohoku Univ.)

【はじめに】近年, 透過型電子顕微鏡（TEM）下のその場観察により，水溶液中でナノ粒子の結晶成長過程が観察され，oriented attachment やアモルファス核の生成といった非古典的な核形成経路が見つかった（例えば De Yeoreo et al., 2015）．本研究では，珪酸塩メルト中での微小結晶の成長過程を調べるために，電解放出型走査型電子顕微鏡（FE-SEM）下で加熱その場観察実験を行った．その結果，数ナノメートルから数百ナノメートルサイズの金属粒子の合体成長が観察された．

【方法】加熱実験のその場観察は FE-SEM 下で Protochips 社の Aduro 加熱ステージを用いて行い，二次電子および反射電子像の観察を行った．出発物質には，ほとんど結晶を含まない桜島火山の大正噴火軽石を用いた（石基ガラス SiO_2=70 wt%, Otsuki et al., 2015）．加熱用の MEMS チップに載せられる試料の大きさは約 20μm 四方である．そこで軽石を瑪瑙乳鉢で粉砕し，エタノールを用いて石基ガラスをチップに固定する方法と，集束イオンビーム（FIB）を用いてガラス片を作製し，Pt デポジションによってチップに固定する方法を行った．室温から 10˚C/s で加熱し，1–4.5 時間 850–1050 °C で温度を保持した．FE-SEM の加速電圧は 10–15kV，高真空度 (9.6×10^{-5} Pa)と低真空度（60Pa）の条件で実験を行った．実験後は FE-SEM-EDS と TEM-EDS を用いて相同定を行った．

【結果と考察】高真空度かつ 950°C のときに金属鉄粒子の合体成長がよく観察された．よく動く粒子から動かない粒子までが存在し，動く粒子の運動方向はランダムだった．合体が観察できた粒子サイズは直径約 30nm から幅 370nm だった．幅が約 200 nm 以上から鉄粒子はファセットを持った．ファセットを持つ粒子同士が合体する場合，まず合体が始まった部分のファセットが消え，その後全体的に丸くなった．幅 370nm の粒子が合体し始めてから丸くなるまでの時間は 183 秒で，粒子径が 80nm だと 4 秒だった．FIB を用いて準備した試料では，Pt 粒子の合体成長が観察された．高真空の電子顕微鏡下かつ高温では，金属粒子の移動度や合体再結晶速度が上がり，従来の低温の水溶液中で観察された無機結晶より 1 桁程度大きい数百ナノサイズの合体成長がおこったと考えられる．

Keywords: nanoparticle, coalescence, undercooling, volcanic glass

*Corresponding author: mayumi.mujin.a5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S1P-03

テフラ成分の屈折率と化学組成に基づく三瓶浮布テフラと阪手テフラの関係の再検証

丸山誠史（KFT）・山下透（KFT）・林田明（同志社大）・
平田岳史（東大）・檀原徹（KFT）

Reexamination of the relationship between Sambe–Ukinuno and Sakate tephras based on refractive indices and chemistry of tephra components

S. Maruyama* (KFT), T. Yamashita (KFT), A. Hayashida (Doshisha University),
T. Hirata (The University of Tokyo), T. Danhara (KFT)

中国地方や近畿地方で見出されている阪手テフラは、三瓶火山より噴出した三瓶浮布テフラ(SUk)に対比されている。福岡・松井(2002)は、三瓶山近傍の露頭調査に基づき、SUk テフラを下位から順に、浮布降下軽石堆積物(Uk-pfa)、緑ヶ丘火砕流堆積物(Md-fl)、そして浮布降下火山灰堆積物(Uk-fa)の 3 テフラに細分した。これまでの研究では、阪手テフラは Md-fl に対比されていたが、それらの関係性の解釈には、曖昧さが残されていた。

また、これまでの研究で指摘されていた通り、本研究でも、三瓶山近傍の露頭より採取された Md-fl（阪手）試料に含まれる角閃石の屈折率は Uk-pfa 試料に含まれるものと似通っていた。このことは、Uk-pfa と Md-fl が一連の火山活動で噴出したことを示唆するものである。しかしながら、Md-fl（阪手）および Uk-fa 試料に含まれる火山ガラスの屈折率は、Uk-pfa 試料に含まれるものより低かった。この屈折率の違いもまた、SUk と阪手テフラの関係性における問題となっていた。

さらに、水月湖コア試料からは阪手テフラ（Md-fl）の可視層が見出されていたが、Uk-pfa は見出されなかった（e.g., Smith et al., 2013）。福岡・松井(2002)などによる露頭調査から、Uk-pfa と Md-fl/Uk-fa は一連の噴火活動で噴出したものと推定されていたが、SUk テフラ下位層（Uk-pfa）と上位層（Md-fl/Uk-fa）で分布域が異なる可能性は、Katoh et al. (2007)によって指摘されていた。

Uk-fa の岩石学的特性から判断すると、Uk-fa と Md-fl は一つの同じテフラと見なすことが可能だった。Uk-pfa に含まれる火山ガラスの SiO_2 濃度は、ガラス屈折率からの予測に反して、Md-fl のものよりも高かった。しかし Uk-pfa に含まれる火山ガラスの FeO 濃度は Md-fl のものに比べて高く、ガラス屈折率の差異は、SiO_2 濃度ではなく FeO 濃度によるものと推定された。

火山ガラスに含まれる合計 58 元素の濃度パターンは、全体としては Md-fl と Uk-pfa の間で似通っているものの、軽希土類元素などの部分で明確に区別が可能だった。このような元素濃度の違いは、結晶分化の過程で起こったか、あるいは他のマグマ源からの混入による、マグマの化学組成の変化によるものと推定された。

これまでの研究では、Md-fl/Uk-fa（=阪手）に対比されるテフラは、中国地方および近畿地方に広く分布していた。一方、Uk-pfa に対比されるテフラは、中国地方南部から近畿地方南部およびその近海、そして四国東端に限定されていた。Katoh et al. (2007)の予測通り、テフラ分布域も異なることが判明した。

本研究の結果から，Uk-pfa と Md-fl/Uk-fa テフラはそれぞれ、SUk (lower)（下部）および SUk (upper)（上部）テフラと、より単純なものに再定義可能である。

Katoh et al. (2007) *Nat. Hum. Activ.* **11**, 29-50.
福岡・松井(2002) *地球科学* **56**, 105-122.
Smith et al. (2013) *Quat. Sci. Rev.* **67**, 121-137

Keywords: Sambe–Ukinuno tephra, Sakate tephra, refractive index, chemical composition, tephra fall area
*Corresponding author: ojigibito@icloud.com

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

Fri. Sep 20, 2019 9:30 AM - 5:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

[コアタイム] 12:00〜14：00

[S2P-01] Kinetics of serpentinization constrained from olivine dissolution rate at hydrothermal conditions

*Ryosuke Oyanagi[1], tatsu kuwatani[1], katsuhiko suzuki[1] (1. JAMSTEC)

[S2P-02] Formation conditions of epidote in lower crustal olivine gabbros of the Oman ophiolite

*Yamato Tateishi[1], Toshio Nozaka[1] (1. Okayama Univ.)

[S2P-03] Experimental simulation of lower crust hydration: preferential plagioclase reaction in the plagioclase + clinopyroxene system

*Takayuki Nakatani[1], Michihiko Nakamura[2] (1. AIST, 2. Tohoku Univ., Sci.)

[S2P-04] Analysis of dehydration processes in atomic scale of hydrous minerals by neutron scattering and transmission electron microscopy

*Takuo Okuchi[1], Narangoo Purevjav[1], Yusuke Seto[2], Naotaka Tomioka[3], Kaoru Shibata[4], Takeshi Yamada[5] (1. Okayama Univ. IPM, 2. Kobe Univ., 3. JAMSTEC, 4. JAEA, 5. CROSS)

S2P-01

かんらん石の溶解速度から制約される蛇紋岩反応速度

大柳良介* (JAMSTEC)，桑谷立(JAMSTEC)，鈴木勝彦(JAMSTEC)

Kinetics of serpentinization constrained from olivine dissolution rate at hydrothermal conditions

Ryosuke Oyanagi* (JAMSTEC), Tatsu Kuwatani (JAMSTEC), Katsuhiko Suzuki (JAMSTEC).

Serpentinization (hydration of mantle peridotite) gives significant changes to both chemical and physical properties of the oceanic lithosphere. Several studies suggested that the rate of serpentinization is maximized at 250-300°C, and the rate-limiting process of serpentinization is the dissolution of primary mineral (e.g., Malvoisin et al., 2012). However, the olivine dissolution rates at > 150°C have never been measured (Rimstidt et al. 2012). Towards the improved understanding of serpentinization kinetics, measuring dissolution rates of olivine as a function of solution composition and temperature is required. In this study, dissolution rate of natural olivine ($(Mg_{0.91}, Fe_{0.09})_2SiO_4$) was measured at 200-300 °C and 50 MPa using a flow-through reactor (Suzuki et al., 2015). Based on dependences of temperature, on dissolution rate, the time scales on hydrothermal alteration of peridotite will be discussed.

海洋底における蛇紋岩化反応は海洋リソスフェアの物理的・化学的性質を大きく変化させ，沈み込み帯へ持ち込む水のフラックスを決定するプロセスである．これまで，海洋底における蛇紋岩化反応の進行プロセスを理解するために，反応速度が実験的に見積もられてきた．これらの研究によると，蛇紋岩化の速度は250~300°Cで最大になり(Martin & Fyfe 1970)、蛇紋岩化反応における律速過程は、かんらん石の溶解であることが示唆されている(Malvoisin et al.,2012).しかし，これまで150°C 以上でのかんらん石の溶解速度は測定されたことがないため(Rimstidt et al. 2012), 蛇紋岩化反応速度とかんらん石の溶解速度の直接的な比較はなされてこなかった．また，200°C におけるかんらん石の炭酸塩化の過程において，かんらん石の溶解は非化学量論的であると示唆されている(Fritz et al. 2018)．蛇紋岩化反応の速度論的理解，および二次鉱物の量論的理解のためには，かんらん石の溶解速度，および溶解反応メカニズムの理解が必要である．

本研究では，流通式水熱実験装置を用いてかんらん石溶解速度の温度，pH 依存性を明らかにする．シリンジポンプで反応溶液(0.5mol NaCl/kg)を定流量(2.0 ml/min)で流し，反応後の溶液を適宜回収する.その後, ICP 発光分析による溶液化学組成を測定し，溶液化学組成の時間変化データから反応速度を求める.反応溶液の温度(200~300 度)を変化させた実験を複数行い，それぞれの化学制約条件における溶解速度を求める．実験時間は 8 時間である．

実験の結果， 200°C の実験において，溶液組成の(Mg+Fe)/Si モル比は約 1.8 で定常状態に達した．一方で，260°C, 300°C の実験において，溶液組成の(Mg+Fe)/Si モル比はそれぞれ 1.2, 0.7 であり，定常状態に達しなかった．これらの結果は，かんらん石の溶解が非化学量論的であることを示唆する．Si の溶液組成を基準とした 200°C, 260°C, 300°C におけるかんらん石の溶解速度($r_{SiO2(aq)}$ (mol m^{-2} s^{-1})の対数はそれぞれ-6.2, -7.5, -7.9 と，温度が高くなるほどに遅くなる傾向を得た．実験結果を溶解速度式によってモデル化し，それを用いて既往の蛇紋岩化反応速度式と比較した．結果，250~300°C の範囲では，蛇紋岩化反応の速度はかんらん石の溶解速度と一致した．一方で，250℃以下では，蛇紋岩化反応の速度はかんらん石の溶解速度より遅かった．これらの結果は 250℃以上ではかんらん石の溶解が蛇紋岩化反応を律速し，250℃以下では別のプロセスが蛇紋岩化反応を律速していることを示唆する．

keywords: 反応速度，蛇紋岩化作用，水熱実験，かんらん石
*Corresponding author: royanagi@jamstec.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S2P-02

オマーンオフィオライト下部地殻かんらん石斑れい岩における緑簾石の生成条件

立石大和・野坂俊夫*（岡山大）

Formation conditions of epidote in lower crustal olivine gabbros of the Oman ophiolite

Y. Tateishi and T. Nozaka* (Okayama Univ.)

We report the distribution and modes of occurrence of alteration minerals in gabbroic rocks from the Oman Drilling Project Holes GT1-3. In contrast to other minerals, epidote is much unevenly distributed, i.e., widespread in upper levels of the lower crustal section, and exclusively within or in proximity to veins and cataclastic zones in lower levels. In lower-level olivine gabbros, prehnite and chlorite replacing plagioclase show a close association with serpentine replacing olivine, whereas epidote, if any, never coexists with serpentine. Thermodynamic modeling indicates that epidote could form at conditions with higher oxygen fugacity than serpentinization and prehnite formation conditions.

オマーンオフィオライトの斑れい岩類は，白亜紀の高速拡大海嶺で形成された海洋下部地殻であると考えられており，海嶺周辺での熱水の浸透によって，ソリダス程度の温度から角閃岩相を経て緑色片岩相に至る変質作用を受けていることが報告されている（例えば，Manning et al., 2000: Geol. Soc. Am. Spec. Paper 349; Nicolas et al., 2003: JGR 108; Bosch et al., 2004: J. Petrol. 45）。様々な条件で形成された変質鉱物の深度分布と産状を把握するために，我々は Oman Drilling Project Phase 1 で 掘削された Hole GT1, GT2, GT3 から採取された斑れい岩類の観察を行った。その結果，変質鉱物として角閃石，緑泥石，蛇紋石，緑簾石，クリノゾイサイト，ぶどう石，曹長石，沸石，方解石などが認められた。それらのうち今回は緑簾石に焦点を当て，その分布，産状，および共存鉱物の組み合わせと化学組成に基づいて成因を考察する。

緑簾石は輝緑岩岩脈と斑れい岩セクション上部では，斜長石を置換して，あるいは熱水脈として広く出現するが，下位のかんらん石斑れい岩においては出現頻度が低下し，破砕帯あるいは熱水脈とその近傍にほぼ限定的に産出する。この緑簾石の分布は，他の変質鉱物がバックグラウンド変質作用によって広く形成されていることと対照的である。角閃石，緑泥石，ぶどう石，蛇紋石の産状と組成は，角閃岩相から緑色片岩相以下に至る様々な温度条件で変質作用が繰り返し起きたことを示唆しており，特定の温度条件（例えば緑色片岩相）での熱水活動の低下を示すような証拠はない。

かんらん石斑れい岩中では，かんらん石は蛇紋石脈に貫かれており，その脈の延長線上では隣接する斜長石にぶどう石＋緑泥石が生じていることが多い。一方，まれに斜長石中に出現する緑簾石は緑泥石とは共存するが蛇紋石との成因的関連を示さない。熱力学的モデル計算は，ぶどう石が蛇紋石化作用と同程度のシリカと酸素の活動度のもとで生じ得るのに対して，緑簾石はより酸化的な環境で生じることを示している。

Keywords: Oman Drilling Project, lower crust, olivine gabbro, alteration, epidote

*Corresponding author. nozaka@cc.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S2P-03

下部地殻の加水反応に関する実験的研究：斜長石＋単斜輝石系における優先的な斜長石の反応

中谷貴之（産総研）*，中村美千彦（東北大・院理）

Experimental simulation of lower crust hydration: preferential plagioclase reaction in the plagioclase + clinopyroxene system

Takayuki Nakatani (AIST)*, Michihiko Nakamura (Tohoku Univ., Sci.)

Recent experimental studies have revealed the preferential reaction of a mineral during the hydration of polymineralic rocks, which results in the formation of metastable product mineral assemblage in the effective bulk rock composition enriched in the preferentially-reacted mineral component. The preferential mineral hydration could affect the fluid circulation in subduction zones at least transiently via modulating the volume change during the reaction. To simulate the hydration reaction of the lower crustal rocks and evaluate its influence on crustal fluid infiltration, we conducted hydration experiments in the plagioclase + clinopyroxene systems with 15 wt% H_2O at 500 °C and 1.0 GPa for 672 hours. The augite (Mg# = 69) and labradorite (An# = 60) powders with grain sizes of 38–53 μm were utilized to prepare the three experimental systems: (1) PL: labradorite 100%, (2) CPX: augite 100%, (3) PL+CPX: labradorite 50% and augite 50% by weight. The reaction products were composed of clinozoisite (Fe-poor epidote) + paragonite + Na-rich plagioclase + quartz in the PL system. In the CPX system, chlorite-like phase + actinolite + quartz + Fe-oxide was formed. In the PL+CPX, epidote + chlorite-like phase + muscovite + Na-rich plagioclase + quartz was observed. Mass balance calculation revealed that plagioclase reacted preferentially in the PL+CPX system in which the effective clinopyroxene/plagioclase ratio was 0.28. High aluminum activity imposed via the preferential dissolution of plagioclase could suppress the crystallization of aluminum-poor amphibole (actinolite) at 500°C. Preferential plagioclase reaction leads to the dominant formation of epidote whose density (~3.4 g/cm^3) is much higher than that of the primary plagioclase (~2.7 g/cm^3). This can lead to ~1% decrease in the overall volume in the PL+CPX system, which is in strong contrast to the volume-increasing serpentinization reaction in the ultramafic system. Hydration of mafic rocks may thus enhance the fluid infiltration in the lower crust via the volume-decreasing reaction.

Keywords: lower crust, hydration reaction, plagioclase, clinopyroxene

*Corresponding author: t-nakatani@aist.go.jp

S2P-04

中性子散乱と透過電顕による含水鉱物の微視的な脱水過程の解析

奥地拓生[1], プレジャブナランゴー[1], 瀬戸雄介[2], 富岡尚敬[3], 柴田薫[4], 山田武[5]
([1]岡山大惑星研, [2]神戸大院理, [3]JAMSTEC, [4]原子力機構, [5]CROSS)

Analysis of dehydration processes in atomic scale of hydrous minerals by neutron scattering and transmission electron microscopy

Takuo Okuchi*[1], Purevjav Narangoo[1], Yusuke Seto[2], Naotaka Tomioka[3], Kaoru Shibata[4], and Takeshi Yamada[5] ([1]Okayama Univ., [2]Kobe Univ., [3]JAMSTEC, [4]JAEA, [5]CROSS)

Hydrous minerals have been playing fundamental roles in the evolution of the Earth. In particular, various types of minerals occurring within the Earth's crust and mantle are absorbing, storing and releasing significant amount of water, which in total can easily exceed the entire mass of the oceans. Transport and storage processes of such water within the Earth are fundamental topics for considering the planet's physical, chemical, and biological evolutions. These processes affect our understanding on the roles of plate tectonic motions, origins of volcanic activities, and interpretation of seismic velocity variations. However, the most fundamental hydration, storage, and dehydration mechanisms occurring within these minerals are not fully understood. In particular, atomic-scale transport process of hydrogen within the relevant crystal structures when dehydration or rehydration occurs within these minerals (e.g. by volume diffusion or grain-boundary diffusion ?, and by transport of H^+, hydrogen vacancy, or H_2O ? etc.) were left almost-totally unknown, while defining the rate-determining step of dehydration and rehydration it is very essential to understand these atomic-scale processes.

We systematically analyze these processes by means of neutron scattering and transmission electron microscopy. Previous works related to that topic were definitively insufficient, where results of macroscopic phenomena, such as tracer diffusion of hydrogen isotopes, were mainly disscussed. Meanwhile we established quasi-elastic neutron scattering (QENS) as a novel effective scheme to analyze the processes in the atomic scale, which provides information on the mole fraction, relaxation time, and jump distance of mobile hydrogen species in the crystal structures. Application of QENS for dynamics of chemically-bonded hydrogen in the crustal structures of minerals is productive only for a large-enough amount of high-quality (pure) sample, so that we developed a mass-production scheme of such hydrous minerals at high pressure-temperature condition in the deep mantle (e.g., Okuchi et al., 2015). Thus a series of hydrous mineral sample species, including those prepared as reagents and as recovered from high-pressure temperature environments, have been systematically analyzed by QENS and in part by transmission electron microscopy. Hydrogen dynamics in these minerals was proved to accelerate with increasing temperature, indicating that extension of the accessible temperature regime by QENS is very urgent task. In the current presentation, we summarize the results on brucite (Okuchi et al., 2018), DHMS phase E, and few other hydrous minerals those were successfully measured at temperatures to around 600 K. These QENS results were discussed together with their relevant crystal structures including site and occupancy of hydrogen, which were separately determined by high-resolution time-of-flight Laue single crystal neutron diffraction scheme (Purevjav et al,. 2019; 2018).

References

Purevjav, N., T. Okuchi, C. Hoffmann, Strong hydrogen-bond generation in dense hydrous magnesium silicate phase E observed by single-crystal neutron diffraction, JpGU 2019 abstract SMP33-04.

Purevjav, N., T. Okuchi, X.Wang, C. Hoffmann, N. Tomioka, Determination of hydrogen site and occupancy in hydrous Mg_2SiO_4 spinel by single-crystal neutron diffraction, Acta Cryst., 74, B115 (2018)

Okuchi, T., N. Tomioka, N. Purevjav, K. Shibata, Quasielastic neutron scattering of brucite for analyzing hydrogen transport at the atomic scale, J. Appl. Cryst., 51, 1564-1570 (2018)

Okuchi, T., N. Purevjav, N. Tomioka, J. F. Lin, T. Kuribayashi, L. Schoneveld, H. Hwang, N. Sakamoto, N. Kawasaki, H. Yurimoto, Synthesis of large and homogeneous single crystals of water-bearing minerals by slow cooling at deep-mantle pressures, Am. Mineral., 100, 1483-1492 (2015)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

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

Fri. Sep 20, 2019 9:30 AM - 5:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

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

[コアタイム] 12:00〜14：00

[R2P-01] Structural study of haüyne by single crystal X-ray diffraction experiment

*Shunichiro Nozokido[1], Takahiro Kuribayashi[1], Toshiro Nagase[2] (1. Tohoku Uni.Sci., 2. Tohoku Uni.Mus.)

[R2P-02] Preparation of Cs^{+} and Er^{3+} exchange forms of GTS-type Na titanosilicate and their cation distributions

*Keiko Fujiwara[1], Naomi Kawata[1], Akihiko Nakatsuka[1] (1. Yamaguchi Uni.Sci. and Tech. for Innov.)

[R2P-03] Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite(Na_2SO_4・$10H_2O$)

*Ryutaro Ikeda[1], Atsushi Kyono[1] (1. Tsukuba Uni.Life and Environmental Sciences.)

[R2P-04] Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite

*Mitsuyoshi Kurita[1], Toshiro Nagase[1], Takahiro Kuribayashi[1], Hiroyuki Imai[2] (1. Tohoku Uni. Sci., 2. Kinseki zoukei studio)

[R2P-05] Synthesis and luminescence of Ce-doped merrillite

「発表賞エントリー」

*Shintaro Niiyama[1], Reiko Simura[2], Kazumasa Sugiyama[3] (1. Tohoku Univ. , 2. IMRAM, Tohoku Univ., 3. IMR, Tohoku Univ.)

[R2P-06] Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

*Ibuki Kinebuchi[1], Yoshinari Sano[1], Atsushi Kyono[1] (1. Univ Tsukuba. Life.)

[R2P-07] Mineralogical study on acicular magnetite exsolution in plagioclase

「発表賞エントリー」

*Ryo Sugaya[1], Masahiko Sato[1], Toshihiro Kogure[1] (1. Univ. Tokyo, Sci.)

[R2P-08] Possible amorphous mineral included in the Tsuchihashi sericite rock

*Koichi Takeuchi[1], Kazumasa KIsu[2], Seiichiro Uehara[3], Yoshihiro Kuwahara[4], Akira Ohwada[5], Masaharu Takebe[6] (1. Non, 2. Ceramic Research Center of Nagasaki, 3. Kyushu Univ. Sci., 4. Kyushu Univ. S. C. S., 5. AIST, 6. Tsuchihashi mining Co.)

[R2P-09] Synthesis Condition and Iron Valence in Vivianite

「発表賞エントリー」

*Kohei Chiba[1], Eriko Ohshima[2], Misaki Takahashi[3], Kazumasa Sugiyama[4] (1. NIT Ichinoseki Col., Adv. Chem. Eng., 2. NIT Ichinoseki Col., Dept. Eng. Fut. Innov., Div. Chem. Eng. & Bio., 3. NIT Ichinoseki Col., Dept. Chem. Eng., 4. Tohoku Univ., IMR)

[R2P-10] Growth of a solid solution crystal: selective adsorption and kink kinetics

*Masao Kitamura[1], Kiiko Katsuno[2], Toshiharu Irisawa[3] (1. Non, 2. Seikei Univ., 3. Gakushuinn Univ.)

[R2P-11] Growth process of low-symmetry trapiche emeralds

「発表賞エントリー」

*chihiro kaino[1] (1. Tohoku Uni. Sci.)

[R2P-12] Electronic state of pyrite structure

*Ruka Yoneyama[1], Fumiya NORITAKE[2,3] (1. University of Yamanashi,Eng., 2. University of Yamanashi, 3. RIKEN)

単結晶X線回折実験によるアウインの結晶構造解析

苅戸俊一郎(東北大院理), 栗林貴弘(東北大院理), 長瀬敏郎(東北大・総学博)

Structural study of haüyne by single crystal X-ray diffraction experiment

S. Nozokido* (Tohoku Univ.), T. Kuribayashi (Tohoku Univ.), T. Nagase (Tohoku Univ.)

R2P-01

はじめに

アウインはソーダライトグループに属し, SiO_4四面体とAlO_4四面体がAl排他則に基づいて交互に配列したフレームワーク構造を持つ。内部のケージにはNa^+やK^+等の陽イオンやCl^-やSO_4^{2-}等の陰イオンを含んでいる。ソーダライトグループ鉱物のうち, ソーダライト以外は変調構造を持つことが知られている。変調構造の要因に関する多くの研究がこれまでに行われ, (Saalfeld,1961; Hassan and Grundy, 1989 など) 様々な説が挙げられている。

本研究では, 変調構造を持つドイツ,Eifel産のアウイン(EG)の結晶構造を解析し, 常温常圧下で他のソーダライトグループ鉱物の結晶構造と比較検討し, アウインの変調構造の発生要因を再検討した。

実験

試料には変調構造を持つドイツ, Eifel産アウイン($Na_{5.65}Ca_{1.90}K_{0.40}[Al_{6.12}Si_{5.84}O_{24}](SO_4)_{1.90}Cl_{0.08}$)を用いた。単結晶X線回折実験は, 常温(20℃)常圧下で, 四軸型自動X線回折計(Rigaku, AFC-7S)を用いて, $2\theta_{max} = 59.72°$, 50 kV-30 mA, MoKα線($\lambda = 0.71073$ Å)の条件で強度測定を行った。独立な78個の反射($I > 2\sigma I$)を用い, WinGXとSHELXL97を用いて結晶構造パラメータを精密化した。その結果, R1 = 7.72%, wR2 = 24.00%, GooF = 0.940で収束した。

結果と考察

Hassan and Grundy (1991)が報告した変調構造を持たないイタリア, Sacrofano産のアウイン(SI)の結晶構造モデルと今回の変調構造を持つEG産の結晶構造モデルを比較すると, EG産の試料では, 結晶モデルでフレームワークの酸素席が2つに分裂している点で顕著な差異が見られた。また, SO_4^{2-}イオンは, 両者の試料で共通して方位は1方向だった。同じソーダライトグループ鉱物に属するノゼアン ($Na_8[Al_6Si_6O_{24}]SO_4 \cdot H_2O$) にも変調構造が観測され, その原因として, 大きさと電荷の異なる$\{Na_4 \cdot SO_4\}^{2+}$と$\{Na_4 \cdot H_2O\}^{4+}$クラスターの秩序配列により, 変調構造に起因するフレームワーク構造中の酸素席が2つに分裂すると議論されている(Hassan and Buseck, 1989a)。 一方, Kuribayashi (2017)は1000℃以上に加熱したアウインの試料の変調周期が常温に戻したときに不可逆的であることから変調構造の要因は, フレームワーク構造中の四面体中のAl / Siの配列様式に起因すると報告している。

Hassan and Buseck(1989)の考えでは, Hassan et al.(2004)で報告されている変調構造をもつアウインの構造を一部説明できない。 変調を示さないアウインで見られた2つのクラスターは, フレームワーク中の酸素席に影響を与えておらず, 本試料では, 化学組成分析結果から, クラスター成分としては, $\{Na_3CaSO_4\}^{3+}$の成分が大半を占めており, 変調構造の要因としての影響は小さいと考えられる。このため, 四面体席中のAl/Siの分布様式をより正確に知る必要がある。

Keywords: Haüyne, modulated structure, framework, SC-XRD
S. Nozokido: shunichiro.nozokido.s3@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-02

GTS 型 Na チタノシリケートの Cs^+および Er^{3+}交換体の作製と陽イオン分布の検討

藤原 惠子、河田 尚美、中塚 晃彦（山口大・院創成）

Preparation of Cs^+ and Er^{3+} exchange forms of GTS-type Na titanosilicate and their cation distributions

Keiko Fujiwara*, Naomi Kawata, Akihiko Nakatsuka (Sci. Tech. Innov., Yamaguchi Univ.)

1. はじめに

マイクロポーラス結晶である GTS 型 Na チタノシリケート（Na-GTS : $Na_4[(TiO)_4(SiO_4)_3]\cdot 6H_2O$）は、4 つの TiO_6 八面体が稜共有することによって 1 つのクラスターを形成し、そのクラスター同士が SiO_4 四面体と頂点共有によって結合することで骨格構造を形成する。1 つの細孔内に 4 つの Na^+イオンと 6 つの H_2O 分子が占有している。結晶構造は立方晶系から僅かに歪んだ三方晶系（$R3m$, a = 7.812 Å, α = 88.79°）に属する。

東日本大震災による福島第一原発事故で生じた汚染水中の放射性元素のうち、放出量が多く半減期が長い Cs を効率よく回収・除去するための吸着剤の探索・開発が切望されている。また、ゼオライトなどの希土類イオン交換体は、触媒や蛍光材料として重要である。本研究では、Na-GTS の Cs^+および Er^{3+}イオン交換体を合成し、それらの陽イオン分布について検討した。

2. 実験

出発物質として NaOH 水溶液、高分散 SiO_2、$TiCl_4$ 水溶液を用い、これらを混合した後、水熱処理した。粉末 XRD の結果、得られた生成物は Na-GTS の単一相であることを確認した。この Na-GTS に CsCl 水溶液（0.01～1.0 M）または $ErC1_3$ 水溶液（0.01～0.5 M）を加え、振とう処理を行うことによってイオン交換した。振とう処理条件は、前者において 25, 40, 60 °C の各温度で 24 時間、後者において 25, 60 °C の各温度で 6 時間であった。得られた試料の構造評価には粉末 XRD、含水量の決定には TG-DTA を用いた。振とう処理後の CsCl および $ErCl_3$ 水溶液における上澄みの Na^+濃度を原子吸光分析で求め、Cs^+ 交換体 $[Na_{4(1-x)}Cs_{4x}Ti_4Si_3O_{16}\cdot nH_2O]$ および Er^{3+} 交換体 $[Na_{4(1-x)}Er_{4x/3}Ti_4Si_3O_{16}\cdot nH_2O]$ のイオン交換率 x を決定した。

3. 結果と考察

Cs^+交換実験では、いずれの振とう温度においても、CsCl 水溶液濃度（C_{Cs}）が 0.1 M までは交換率 x が急激に増加するが、それ以上では x の値は約 0.7 でほぼ一定となった。一方、Er^{3+}交換実験では、$ErCl_3$ 水溶液濃度（C_{Er}）が 0.1 M までは Cs^+交換実験と同様な交換率 x の急激な増加を示すが、その後も緩やかに増加した。その結果、60 ℃での振とう処理によって、C_{Er} = 0.5 M のとき Er^{3+}交換の最大許容量である x = 1 にほぼ近い値をもつ Er^{3+}交換体（x = 0.96）を得た。

粉末 XRD の結果、両イオン交換体とも、交換率 x が高くなるにつれて、格子定数と回折ピーク強度が系統的に変化した。そこで、両イオン交換体の陽イオンが、細孔内において、どのように分布しているかを検討した。

Sr-GTS（立方晶系；空間群 $P\bar{4}3m$）の単結晶X線構造解析（Spiridonova et al., 2011）によって報告された Sr^{2+}席（4e と 6g）が、擬立方構造をもつ Cs^+交換体と Er^{3+}交換体中の交換性陽イオン（Cs^+, Er^{3+}）の可能な占有席とし、いくつかの占有モデルを仮定して XRD パターンをシミュレーションした。実測の XRD パターンと比較した結果、Cs^+交換体中の Cs^+は擬立方構造における 6g 席を優先的に占有するが、Er^{3+}交換体中の Er^{3+}は擬立方構造における 4e と 6g の両席にほぼ均等分布していることが示唆された。

Keywords: microporous crystal, hydrothermal synthesis, Er-exchange, Cs-exchange, cation distribution

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Mirabilite (Na_2SO_4･$10H_2O$)の結晶構造の温度依存性

池田　龍太郎*, 興野　純（筑波大学生命環境）

Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite

Ryutaro Ikeda and Atsushi Kyono

The temperature-dependent single-crystal X-ray diffraction measurement of mirabilite (Na_2SO_4･$10H_2O$) was performed in the temperature range between 213 and 303 K. Here, we report the crystal structure change of mirabilite associated with the positional disorder of the O atoms at the tetrahedral apices .

Mirabilite (Na_2SO_4･$10H_2O$)は物質の相変化を利用して内部に熱量を保存することができる相変化材料(Phase Change Materials, PCM)として知られている. 306K にて脱水反応によって mirabilite から無水の thenardite (Na_2SO_4)に変わり，283K にて水和反応によって thenardite から mirabilite に戻る. この可逆反応の際に，522 kJ/mol の熱量が吸収放出される. これは氷から水への相転移に必要な熱量の約 12 倍に相当する(Rossini et al., 1952). Mirabilite の結晶構造は，$Na(H_2O)_6$ 八面体の水分子と SO_4 四面体の酸素が無秩序配置している特徴がある(Levy & Lisensky, 1978). 粉末中性子回折測定によって，mirabilite の $Na(H_2O)_6$ 八面体の水分子の無秩序対置に温度依存性があることが示された(Brand et al., 2008). しかし，SO_4 四面体の無秩序配置の温度依存性については明らかになっていない. そこで本研究では，単結晶 XRD 測定を実施し，mirabilite の SO_4 四面体と無秩序配置の温度依存性について詳細に調べた.

213K から 303K の範囲での単結晶 XRD 測定の結果，温度に伴って mirabilite の単位格子は *c* 軸方向に顕著な熱膨張を示したのに対し, *b* 軸方向の熱膨張は僅かであった. SO_4 四面体の酸素の席占有率は，温度とともに major 成分が減少し minor 成分が増加した. また，minor 成分の SO_4 四面体は膨張するのに対し，major 成分の SO_4 四面体は温度上昇に伴い収縮する特徴的な挙動を示した.

Mirabilite は，温度に伴って minor 成分の SO_4 四面体内の S-O 結合距離が減少するため，酸素原子は SO_4 四面体体積が大きい minor 成分に移動していると考えられる. 温度変化に伴う水素原子や酸素原子の無秩序配置内での移動が, mirabilite の内部に高い熱量を保持できる要因であると考えられる.

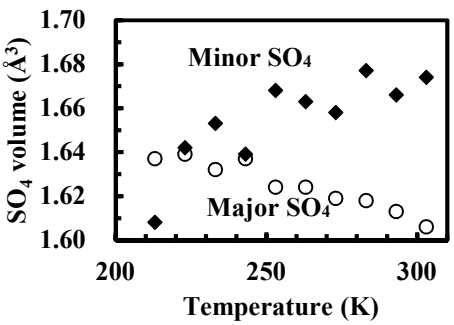


図 1　SO_4 四面体体積の温度依存性

Keyword: Mirabilite, phase change materials, single crystal X-ray diffraction

Correspondong author: E-mail address: ikeda1555@geol.tsukuba.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-04

クトナホラ石の形態変化の結晶学的解析

栗田充喜 (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)

Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite

M. Kurita*, T. Nagase, T. Kuribayashi (Tohoku Univ.) H.Imai (Kinseki zoukei studio)

はじめに

クトナホラ石 (kutnohorite) $CaMn(CO_3)_2$ は、空間群$R\bar{3}$の苦灰石 (dolomite) 型の結晶構造をもち、異なる陽イオン八面体席が存在する。この席をA席、B席としたとき２つの陽イオンの席占有率から陽イオン配列の秩序度が求められ、同じ組成でも秩序度によって格子定数や陽イオン八面体席内での原子間距離などが変化する (Reeder,1983)。一方で形態に着目すると同形の方解石には多くの結晶形態が報告されている。結晶形態の変化には温度、圧力、不純物など様々な要因が関係している (Sunagawa,1967)。本研究では、クトナホラ石での結晶構造の変化が結晶形態に与える影響を調べた。

試料と観察方法

アメリカ・ニュージャージー州フランクリン鉱山、静岡県清越鉱山そして栃木県鹿沼鉱山から産した試料を実験に使用した。全て薄片を作成し偏光顕微鏡で観察を行ない、電子マイクロプローブアナライザー(EPMA)を用いて組成分析を行なった。単結晶X線回折実験は、フランクリン鉱山産試料について四軸型X線自動回折計 (Rigaku, AFC-7S) で行った。結晶方位解析は静岡県清越鉱山と栃木県鹿沼鉱山から産した試料について、電界放射型電子顕微鏡 (JEOL JEM-7001) に付随した電子線後方散乱回折装置 (OXFORD, AZtec EBSD system) を用いて行った。

結果と考察

単結晶X線回折実験により得られた格子定数はa = 4.8453(4) Å, c = 16.761(8) Åであり、空間群$R\bar{3}$で構造精密化を行なった。(R値は 3.72 %である。A席、B席の占有率はそれぞれA席: Ca^{2+} 39 %, Mn^{2+} 61 %, B席: Ca^{2+} 52 %, Mn^{2+} 48 %である。この値は組成分析で求められた値と概ね一致する。Reeder (1983) で用いられている式を使用して求めた秩序度 S = 0.143であり、これは無秩序構造寄りの値である。Peacor (1987) の結果と比較したところ秩序度が上がるにつれて (0001) 面に平行なCO_3平面三角形はc軸を軸とした回転が大きくなる。この回転は２つの陽イオンのイオン半径の差によって八面体席が歪むことで起きる。

次に結晶構造内でのCO_3平面三角形の回転と結晶の方位関係について、EBSD法で検証した。EBSD解析に用いた試料は、外観や偏光顕微鏡下では放射状組織をもつ。EBSD解析の結果、結晶間の方位回転の軸は結晶構造解析から予想されたc軸とは整合的ではない。多くの粒界の方位回転の軸はc軸に直交または斜めに交わる方向である。

今回EBSD解析を行なった試料ではCO_3平面三角形の (0001) 面内でのc軸を軸とした回転の影響は見られない。つまり結晶構造と結晶形態の2つの関係を繋ぐには他の要因を考慮する必要がある。

Keywords: Kutnohorite, Degree of ordering, Single-crystal X-ray diffracton, EBSD
*Corresponding author:mitsuyoshi.kurita.r2@dc.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Ce 添加 merrillite 型結晶の合成と発光特性

新山慎太郎*(東北大院工)，志村玲子(東北大多元研)，杉山和正(東北大金研)

Synthesis and luminescence of Ce-doped merrillite

N. Shintaro* (Tohoku Univ), R. Simura (IMRAM, Tohoku Univ), K. Sugiyama (IMR, Tohoku Univ)

【はじめに】apatite [$Ca_5(PO_4)_3(OH,F,Cl)$]および merrillite [$Ca_9MgNa(PO_4)_7$]などのリン酸塩鉱物には，希土類元素が含有されていることがある．我々は，天然リン酸塩鉱物の XANES および発光分析データから希土類元素の存在形態を解明し，その置換メカニズムを応用した新規蛍光体材料の開発を行っている．

【実験および考察】リン酸塩鉱物への希土類元素の置換導入メカニズムに関してはいくつかの議論があるが，lunar merrillite に関しては，アルカリ土類金属席の一部が希土類元素に置換されている(Hughes et al. 2006)．本稿では， merrillite の希土類元素置換メカニズムを応用して作製した $Ca_9Ce□(PO_4)_7$ の解析結果を紹介する．試料は，目的組成に計量した原料粉末を圧粉成型して電気炉で仮焼結した．得られた試料を粉砕した後再度成型して 1300℃で焼結することで作製した．焼結後の試料は白色～緑白色を呈する 120 μ m 程度の結晶粒から構成されていた．３次元蛍光発光測定を行った結果，励起光 220-340nm で 320-400nm の Ce^{3+} の 5*d*-4*f* 遷移の紫色の蛍光発光が確認された（図１）．さらに図２に示すように，本試料の Ce L_{III} 吸収端 XANES プロファイルは，$Ce^{3+}PO_4$ と類似し，試料中の Ce は 3 価が支配的であることも判明した．単結晶構造解析を行った結果，本試料は merrillite 型 $Ca_9Ce□(PO_4)_7$(*R*3*c* *a*=10.500(2), *c*=37.564(4))が主成分であることも判明している．当日は結晶構造の詳細と固溶 Ce の存在形態との関連について議論する予定である．

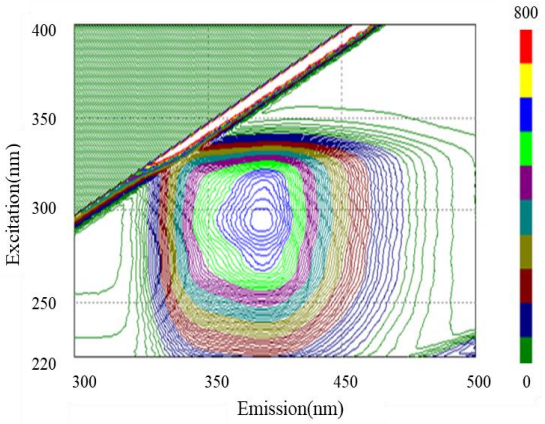


図１． ３次元蛍光発光マップ

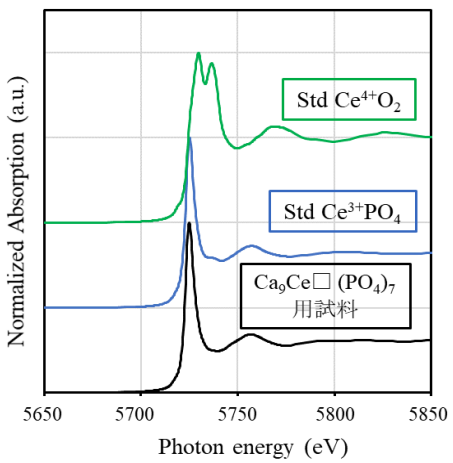


図２． XANES 測定結果

Keywords: apatite, phosphate, cerium, photoluminescence X-ray diffraction, XAFS
* Shintaro Niiyama: shintaro.niiyama@imr.tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-06

Magnetite-maghemite-hematite 相転移メカニズム

杵渕伊吹*・佐野喜成・興野純（筑波大・院・生命）

Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

Ibuki Kinebuchi*, Yosinari Sano, Atsushi kyono (Univ Tsukuba, Life)

地殻中に普遍的に存在する magnetite (Fe_3O_4)は Fe^{2+}が Fe^{3+}に酸化することによって hematite (α-Fe_2O_3)に相転移する. この酸化過程において, magnetite と同形構造である maghemite (γ-Fe_2O_3)が中間相として形成される. Maghemite は magnetite 中の八面体席の一部が空孔になったものであり, magnetite から maghematite への局所構造の連続的な変化については未解明な部分が多い. そこで本研究では, magnetite から maghemite を経て hematite まで相転移するメカニズムを解明するために, 熱重量･示差熱分析, 高温 in-situ 粉末 XRD 測定, X 線吸収微細構造(XAFS)の高温 ex-situ および in-situ 測定を行って, magnetite の酸化過程での局所構造変化を調べた.

熱重量･示差熱分析の結果, magnetite には加熱開始と同時に 400 ºC まで連続的な発熱と重量増加が観察され, その後 500 ºC までは発熱量は減少し重量は一定となった. 高温 in-situ 粉末 XRD のリートベルト解析から, 加熱に伴う Fe_{oct} の席占有率の減少と(110)(210)(211)面のピークの出現, 増加が分かる. より高温になることで hematite のピークが出現, 増加し, maghemite のピークが減少していた. Ex-situ EXAFS の動径構造関数から, 250 ºC まで加熱した magnetite では, 出発物質の magnetite と比較して Fe_{oct}-O, Fe_{oct}-Fe_{oct}, Fe_{tet}-Fe_{oct}t のピークが弱く, Fe-O の平均結合距離が短いことが分かった. また, 500 ºC まで加熱した magnetite では, hematite に特徴的なピークが強くなっていた. 500 ºC での高温 in-situ XANES の結果から, Fe の平均酸化数は加熱開始から 135 分まで連続的に増加し, 135 分以降はほぼ一定となることが明らかになった. また, 高温 in-situ EXAFS の動径構造関数から, 加熱開始から 70 分までは magnetite の Fe-O, Fe_{oct}-Fe_{oct}, Fe_{tet}-Fe_{oct} のピークが連続的に減少した. その後, 80 分以降から hematite に対応するピークが出現し始めた.

以上の結果から, magnetite は, 加熱によってはじめに八面体席の Fe^{2+}が拡散し八面体席の一部が空孔となり maghemite に相転移する. その後, maghemite の空孔となった八面体席が再び Fe の八面体配位を形成し, hematite に相転移していると考えられる.

Keywords: magnetite, maghemite, hematite, phase transformation

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

斜長石中の針状磁鉄鉱離溶相の鉱物学的研究

菅谷 崚*[1]，佐藤 雅彦[1]，小暮 敏博[1]（1.東大・院理）

Mineralogical study on acicular magnetite exsolution in plagioclase

Ryo Sugaya*1, Masahiko Sato1, Toshihiro Kogure 1(1. Univ. Tokyo, Sci.)

Recently, acicular magnetite exsolution in plagioclase has attracted paleomagnetism researchers because of its possibility of a good remanent carrier (Kato et al. 2018). Information of magnetic minerals such as formation temperature is essential in order to utilize them to paleomagnetism, but the formation condition of the acicular magnetite is not well understood. In this study, we observed the fine structure of the acicular magnetite in plagioclase from Duluth Complex, Minnesota, by using electron microscopy (SEM, TEM) including EBSD analysis. We found that the acicular magnetite is divided into more fine segments by ilmenite lamella, and that K-feldspar and biotite accompany the acicular magnetite. The biotite is considered to be a reaction product of magnetite and K-feldspar.

近年古地磁気学分野では，斜長石中に離溶した針状の磁鉄鉱が有用な残留磁化担体になるのではないかと注目されており，それを用いた古地磁気測定が行われている(Kato et al. 2018)．信頼度の高い古地磁気記録を得るためには磁性鉱物の生成温度などその形成条件に関する情報が必要であるが，この針状磁鉄鉱に関しては未解明な部分が多い．そこで本研究では主に電子顕微鏡により，その詳細な鉱物学的解析を行った．

試料は磁気測定によりほぼ化学量論的な磁鉄鉱を含んでいるとされたミネソタ州のダルースコンプレックスの斜長岩を用いた．光学顕微鏡から SEM，TEM と空間分解能を上げながら離溶組織の微細構造観察を行った．SEM では形状の観察とともに X 線組成分析及び電子後方散乱回折(EBSD)を行い，さらに FIB により薄片試料を作製し，TEM 内で電子回折等を用いた結晶学的解析を行った．

微細構造観察から針状離溶組織は内部でイルメナイトのラメラによりさらに小さい磁鉄鉱に細分化されており，またこの針状結晶に沿って常にカリ長石と黒雲母が共存することが明らかになった．特に黒雲母は，磁鉄鉱の{111}面に対して(001)面が平行となるように結晶学的関係を持って存在しており，磁鉄鉱とカリ長石の反応生成物であると考えられ，この反応の温度を求めることで磁鉄鉱の生成温度の下限を決めることができる可能性がある．そこで我々はイルメナイトの存在によりこの系が Ti に飽和していると仮定し，Ti-in-biotite 温度計を用いて温度の推定を試みた．

Keywords: Magnetite exsolution, plagioclase, paleomagnetism, biotite

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

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-08

土橋セリサイトに含まれるＸ線回折で見えない鉱物

武内浩一，木須一正（長崎窯技センター），上原誠一郎(九大・理)，
桑原義博(九大・比文)，大和田朗（産総研），武部将治（土橋鉱山(株)）

Possible amorphous mineral included in the Tsuchihashi sericite rock

K. Takeuchi*, K. Kisu (Ceramic Research Center of Nagasaki), S. Uehara ,
Y. Kuwahara (Kyushu Univ.), A. Ohwada(AIST), M. Takebe(Tsuchihashi mining Co., Ltd)

【はじめに】　土橋セリサイトは岡山県備前市の土橋鉱山から産出し、陶磁器原料に利用されている。土橋鉱山は白亜紀の流紋岩質溶結凝灰岩が熱水変質を受けて生成した鉱床で、セリサイトの他にパイロフィライトと珪石を産出する[1)]。土橋セリサイトの特長は鉄分が少なく、微粒子で構成されており、可塑性に富むことである[2)]。可塑性の発現と鉱物学的特性の関係を研究するなかで、土橋セリサイトの化学組成が他地域のセリサイトに比べてカリ成分が少ない現象が認められた。その原因を明らかにするため、セリサイト粒子の詳細な観察を行った。

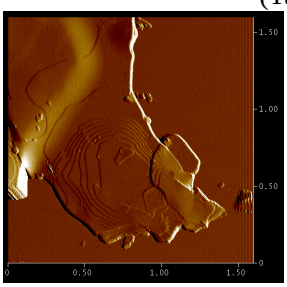
【実験】　①試料　実験に用いた試料は、L5 レベル南 1 区入り口付近で採取された「高品位鉱」で、セリサイトの純度が高い特級品の原料であり、産出は限られている。②実験方法　乾式研磨法で薄片を作製し偏光顕微鏡観察を行った。原鉱を粉砕して蛍光Ｘ線分析装置(XRF)で化学分析を、粉末Ｘ線回折(XRD)で構成鉱物の定性を行った。粗い粉砕物を超音波分散処理を行い、水ひで 2 μ m 以下の粒子を集めて定方位試料を作製した．同様に超音波分散でセリサイト粒子の懸濁液を作製して原子間力顕微鏡(AFM)観察用の試料とした。また、原鉱の一部をめのう乳鉢で粉砕してメッシュ上に掬い透過型電子顕微鏡(TEM)観察用の試料とした。以上のほかに、熱分析と赤外線吸収の実験を行った。

【結果と考察】　化学分析の結果を表 1 に示す。表には比較のため同時に分析した日本粘土学会参考試料の結果も示している。土橋セリサイトは参考試料に比べて K_2O が約 2%少ない。化学分析を行った試料の XRD 測定では、セリサイト以外の回折ピークは認められなかった。偏光顕微鏡観察では 1mm 以下の石英粒子が小数認められた。AFM 像を図 1 に示す。不定形で歪な板状粒子が多く、成長ステップ模様の形状も circular 状が多い。平均粒子厚さは 20-60nm、平均ステップ間隔は 40-100nm であった。成長ステップ模様からは 1M ポリタイプが多いと考えられる。TEM 像を図 2 に示す。TEM 観察から推定される粒子の厚さは数十 nm で、AFM 観察の結果と一致している。図 2 には薄板状のセリサイトだけでなく、100nm 以下の粒状物質が多く存在している。これらの粒子からは明瞭な電子線回折が得られておらず、Si と Al を含んでいるが詳細な化学組成は不明である。この粒状物質が XRD で検出できない鉱物の可能性がある。

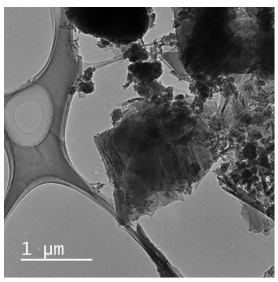
1)橋本ら(2019)資源地質学会第 69 回年会 50.
2) 武内ら(2018)第 62 回粘土科学討論会 146-147.

(Table 1) XRF analysis
(wt. %)

	(1)	(2)
SiO_2	49.78	47.32
TiO_2	0.10	0.23
Al_2O_3	36.59	29.36
Fe_2O_3	0.05	4.19
MgO	0.07	1.06
CaO	0.20	1.99
Na_2O	0.14	0.11
K_2O	7.19	9.16
Ig. loss	5.83	6.29
Total	99.95	99.71
(1)土橋セリサイト		
(2)日本粘土学会参考試料(JCSS-5102)		



(Fig. 1)　AFM image



(Fig. 2) TEM image

Keywords: sericite, AFM, TEM, amorphous
E-mail address: Koichi.Takeuchi@mc2.seikyou.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ビビアナイトにおける生成条件と鉄の酸化数

千葉康平*[1], 大嶋江利子[1], 高橋美咲[1], 杉山和正[2]（1. 一関高専，2. 東北大金研）

Synthesis Condition and Iron Valence in Vivianite

Kohei CHIBA*[1], Eriko OHSHIMA[1], Misaki TAKAHASHI[1], Kazumasa SUGIYAMA[2]
(1. NIT, Ichinoseki Col.), (2. Tohoku Univ., IMR)

Vivianite is known as an iron (II) phosphate octahydrate. Metavivianite is known as the oxidized vivianite. We synthesized iron phosphate in virous temperature conditions. As a result, we discovered metavivianite obtained in 60 degrees. Above 70 degrees, vivianite and metavivianite are not obtained. It's considered that metavivianite is the metastable phase.

1．緒言

2価の鉄のリン酸鉄鉱物のvivianiteは発見時は無色であるが，すぐに青色に変化することが知られている．これはFe^{2+}の空気酸化によるものとされている．またvivianiteの鉄の一部が酸化されたmetavivianiteがあり，天然ではvivianiteとmetavivianiteは共存する．

本研究では，常圧で水が存在できる範囲で反応温度を変化させ生成するリン酸鉄の変化を調べた．その結果をもとに vivianite その類縁化合物の関係を考察した．

2．実験

$(NH_4)_2HPO_4$ 0.6 g を水 18 mL に溶解し，それに $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 1.8 g を加え 50～90 ℃で反応させた．生成物は XRD で同定を行い，XAFS で鉄の状態分析を行った．

3．結果及び考察

反応物を混合するとすぐに白色沈殿が生成したが，これは徐々に青または緑色に変化した．反応温度が 50 ℃以下では青色，60 ℃以上では緑色となった．反応温度を変えて生成した試料の粉末 XRD パターンを図 1 に示す．

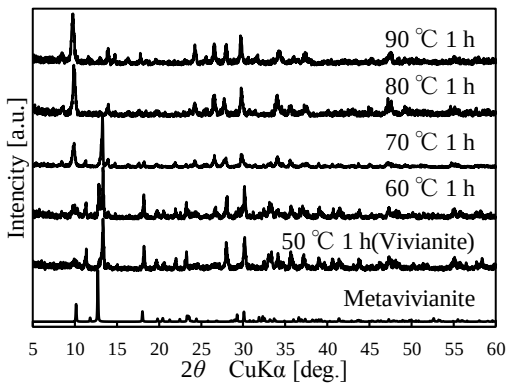


図 1. 実験で得られた試料の XRD パターン

図 1 より 50 ℃では vivianite，60 ℃で vivianite と metavivianite の混合物，70 ℃以上で両者と異なる化合物が得られた．

60 ℃で長時間反応させた場合や 60 ℃前半で反応させた場合でも，metavivianite の単相は得られなかった．つまり metavivianite の生成温度範囲は以上に狭く，metavivianite は準安定相でありと考えられる．また，60 ℃以下での生成物中の鉄は 2 価，70 ℃以上では 3 価の成分があることも分かった．

Keywords: Vivianite, Metavivianite, Iron Phosphate

Corresponding author: Kohei CHIBA, E-mail address: a18808@g.ichinoseki.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

固溶体の成長：選択的吸着とキンクカイネティックス

北村雅夫*・勝野喜以子[1]・入澤寿美[2]
[1]成蹊大学、[2]学習院大学計算機センター

Growth of a solid solution crystal: selective adsorption and kink kinetics

Masao Kitamura*, Kiiko Katsuno (Seikei Univ.)[1], Toshiharu Irisawa (Gakushuinn Univ.)[2]

A new mechanism consisting of 'selective adsorption' on kink sites and the element exchange between surface sites and surrounding media is proposed as the most important process for predicting the bulk composition of a growing solid solution crystal.

はじめに：多くの鉱物は固溶体を形成する。成長時にどのような組成を持つかについての詳細な研究は、実験・理論共にあまり進展していない。理論的予測が十分に行えない最大の理由は、界面からバルクへの組成変化の微視的な立場のデーターが得られていなかったためである。先年、モンテカルロ（MC）シミュレーションによる研究を行い詳細で微視的なデーターを得た。今回、固溶体界面上での吸着現象とキンクカイネティックスを考察し、MC データーの理論的解析を行った。

制約条件：MC 計算から得られた主な制約は（１）母相と界面との原子の交換反応は生じるがバルクとの直接の交換反応は生じていない（２）キンクの前進によって界面組成からバルク組成に変化する（３）界面組成からバルクへの組成変化の過飽和度依存性は低過飽和度と中過飽和度では異なる（高過飽和度では変化しない）である。

Keywords: crystal growth theory, solid solution

*Corresponding author: mkitamura@td6.so-net.ne.jp

理論解析：界面での交換反応とキンクの前進によってバルク組成への変化が生じるという新しい機構を考察した。まず、界面のサイトではアダトムの選択的吸着（界面が平衡組成の時には吸着されたサイトはバルク平衡組成を持つ）が生じることを明らかにした。キンクサイトでは選択的吸着がキンクの前進をもたらすのでキンク直下となるバルクサイトはバルク平衡組成を持つこととなる。一方、吸着されていないキンクサイトが母相との交換反応により界面平衡組成になる場合、同様なキンクの前進が生じバルク平衡組成への変化をもたらす。交換反応速度は過飽和度により異なり、低過飽和度では 2 種類の原子が、中過飽和度では結合の弱い原子のみが関与する。

結論：成長時の界面組成からバルク組成への変化は、前進するキンクでの組成選択と界面―母相間の交換反応の２つのプロセスの複合した機構によってもたらされる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R2P-11

トラピッチェ・エメラルドの成長プロセス

海野智洋，栗林貴弘（東北大院理），長瀬敏郎（東北大総学博）

Growth process of low-symmetry trapiche emeralds

Chihiro Kaino*, Takahiro Kuribayashi, Toshiro Nagase (Tohoku Univ.)

1. はじめに　コロンビア産のベリル($Be_3Al_2Si_6O_{18}$)はトラピッチェ・エメラルドという特殊な成長組織を有しており、この組織は中心の六角形のコア部と、そこから伸びる六本のアーム部からなる。その成長様式に関しては様々な研究が行われている(Isabella *et al*., 2015)。これまでの我々の研究により、アーム部に低対称を示す部分が含まれていることがX線構造解析から示唆された。エメラルドにおいても、江森ほか(2002)によって同様の報告がなされている。トラピッチェ・エメラルドの成長プロセスにおいて、低対称化した結晶がアーム部に含まれていることを考慮した先行研究はない。そこで本研究では、トラピッチェ・エメラルドに含まれる対称性の異なる２つの領域と成長プロセスとの関係について考察をおこなう。

2. 実　験　本研究では、コロンビア、ペナスブランカス産のトラピッチェ・エメラルドを用意し、偏光顕微鏡観察、化学組成分析、走査型電子顕微鏡(SEM)観察および SEM 付属のカソードルミネッセンス(CL, Gatan 製 MiniCL)による観察をおこなった。

3. 結果と考察　試料の *c* 軸に垂直な薄片の偏光顕微鏡観察では、アーム部に消光するバンドと常に暗黒なバンドがみられ、対称性が異なる部分が含まれていた。CL での観察で明暗のバンドが交互に並んだ組織が確認でき(Fig.1)、BSE 像の明暗と対応していた。組成分析の結果、アーム部の暗部には Na と Mg が明部より多く含まれる。またアーム部の明暗の互層がそれぞれの組成を保ったまま、ある方向から〈210〉へと曲がっている組織が部分的にみられる。このことからアーム部は成長面に依存する成長ではないことが示唆される。SEM 観察ではアーム部の{10$\bar{1}$0}表面に数 μmの凹凸が無数にみられる。同一の視野を CL で観察したところ、暗部が凹部に対応する。

以上の観察結果から、アーム部は対称性の異なる２つの結晶がコアの{10$\bar{1}$0}面上でセル成長をすることで形成していると考えられる。

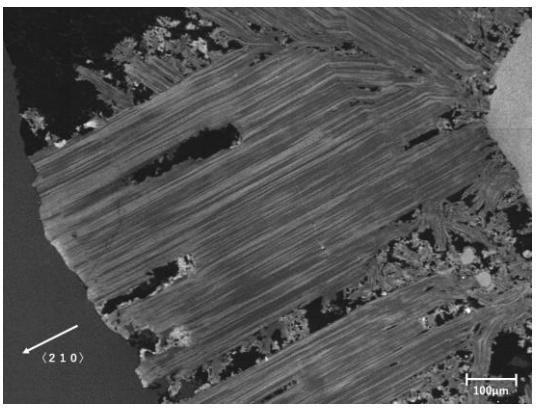


Figure 1. 試料のアーム部の CL イメージ

Keywords: trapiche emerald, cathodoluminescence, cell growth

***Corresponding author**: chihiro.kaino.s3@dc.tohoku.ac.jp

パイライト型構造の電子状態

米山　瑠華*　（山梨大・工）、則竹　史哉（山梨大・院総合研究部、理研）

Electronic state of pyrite structure

Ruka YONEYAMA* (University of Yamanashi)

Fumiya NORITAKE-(University of Yamanashi, RIKEN)

Pyrite structure (MX2) has simple cubic lattice and is characterized by X-X bonding, MX6 octahedron, and a X element making bond with 3 M elements and a X element. Hauerite is a pyrite structure mineral with composition of MnS2.It is known that the hauerite has a long bond distance compared with pyrite-type structure minerals composed of other transition metal elements. In this study, molecular orbital calculation was performed using MP2 method and aug-cc-pVTZ basis functions on the cluster (H6S12M, M = Mn, Fe, Co, Ni) as part of the pyrite-type structured crystal. As a result of structural optimization, the elongation of bonding distance between Mn and S comparing with other transition metal elements and high-spin state of manganese consistent with experiments were reproduced.

MX_2 (M は主として遷移金属元素、X は主としてカルコゲン元素)の化学組成を持つパイライト型構造は単純立方格子を持ち、X 元素同士の結合、1 つの M 元素に X 元素が 6 個配位した八面体、1 つの X 元素に対して 3 つの M 元素と 1 つの X 元素が結合していることで特徴づけられる(Eliot, 1960)。パイライト型構造のうち遷移金属元素の席がマンガンで構成されるハウエライトは他の遷移金属元素によるパイライト型構造と比較して M-X 結合距離が長いことが知られている(Tokuda et al.,2019)。

本研究では結晶構造の一部を取り出したクラスター($H_6S_{12}M$, M = Mn, Fe, Co, Ni)に対して分子軌道計算を実施した。分子軌道計算は Schrödinger 方程式を数値的に解く手法で分子系の電子状態を非経験的に求めることができる。

構造最適化を行った結果、密度汎関数法である PBE 法ではすべての M-X 距離がほぼ等しくなるが MP2 法および aug-cc-pVTZ 基底関数を用いることでマンガンと硫黄の結合距離が他の遷移金属元素に比べ長いことを再現した。また軌道解析の結果から他の実験と調和的であるマンガンのハイスピン状態を確認した。本講演ではさらに詳細な議論を軌道解析に基づいて行う。

Keywords: Pyrite, Molecular Orbital Calculations

*Corresponding author: t16am035@yamanashi.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Poster presentation | R5: Extraterrestrial materials

Fri. Sep 20, 2019 9:30 AM - 5:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R5: Extraterrestrial materials

[コアタイム] 12:00〜14：00

[R5P-01] TEM observations of a cosmic symplectite in the Acfer 094 meteorite

*Megumi Matsumoto[1], Akira Tsuchiyama[2,3], Akira Miyake[4], Naotaka Tomioka[5], Motoo Ito[5], Yu Kodama[6], Junya Matsuno[4], Masahiro Yasutake[2], Aiko Nakato[7], Kentaro Uesugi[8], Akihisa Takeuchi[8], Tsukasa Nakano[9], Epifanio Vaccaro[10] (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG/CAS, 4. Kyoto Univ., 5. JAMSTEC, 6. Marine Works Japan, 7. JAXA/ISAS, 8. JASRI/SPring-8, 9. GSJ/AIST, 10. NHM in London)

[R5P-02] Metamorphic temperature analysis of H chondrites: An attempt using revised Lindsley's pyroxene thermometer

*Ryo Uehara[1], Yoshihiro Kuwahara[2], Kazuhiko Shimada[4], Yoshihiro Nakamuta[3], Seiichiro Uehara[4], Taturo Adachi[5] (1. Kyushu Uni. ISGS., 2. Kyushu Uni. SCS., 3. Kyushu Uni. Mus, 4. Kyushu Uni. Sci, 5. Kyushu Uni. Arch)

Acfer094 隕石中の宇宙シンプレクタイトの TEM 観察

松本恵* (東北大), 土`山明 (立命館大, GIG/CAS), 三宅亮 (京都大),
富岡尚敬, 伊藤元雄 (JAMSTEC), 兒玉優 (マリンワークジャパン),
松野淳也 (京都大), 安武正展 (立命館大), 中藤亜衣子 (JAXA/ISAS),
上杉健太朗, 竹内晃久 (JASRI/SPring-8), 中野司 (産総研),
バッカロ エピファニオ (ロンドン自然史博物館)

TEM observations of a cosmic symplectite in the Acfer 094 meteorite

M. Matsumoto* (Tohoku Univ.), A. Tsuchiyama (Ritsumeikan Univ., GIG/CAS),
A. Miyake (Kyoto Univ.), N. Tomioka, M. Ito, (JAMSTEC), Y. Kodama (Marine Works Japan),
J. Matsuno (Kyoto Univ.), M. Yasutake (Ritsumeikan Univ.), A. Nakato (JAXA/ISAS),
K. Uesugi, A. Takeuchi (JASRI/SPring-8), T. Nakano (GSJ/AIST), E. Vaccaro (NHM in London)

はじめに

Acfer 094 隕石には、宇宙シンプレクタイト（COS: cosmic symplectite）と呼ばれる Fe-O-S-Ni に富む粒子（数–数十 μm）が含まれている。この粒子は、マグネタイトとペントランダイトからなる数十 nm スケールのシンプレクタイト組織を示し、太陽系物質の中で最も重い酸素同位体組成をもつ[1,2]。

COS は、前駆の Fe-Ni 金属, 硫化物粒子が初期太陽系の ^{17}O, ^{18}O に富む水や水蒸気により酸化され形成されたと考えられているが[2]、岩石鉱物学的な研究は少なく、その形成過程には未だ議論の余地がある。本研究では、Acfer 094 隕石研磨片中に見出した一つの COS 粒子[3]について詳細な TEM 観察を行い、新たな COS の産状を発見したので報告する。

試料と手法

本研究の COS 粒子は、事前の NanoSIMS 分析から、先行研究と同様に重い酸素同位体組成（$\delta^{17}O = 159.06 \pm 5.79$ (1σ) ‰, $\delta^{18}O = 166.31 \pm 3.18$ (1σ) ‰）をもつ[3]。また、SPring-8 BL 47XU で行った X 線 CT 撮影から、粒子内部に微小なインクルージョンを含む[3]。インクルージョンが含まれる空間は COS 粒子内で閉じており、クラックは見られないことから、COS 粒子形成時に取り込まれたものと考えられる。本研究では、集束イオンビーム（FIB）を用いてインクルージョンを含む超薄断面試料を作製し、TEM 観察を行った。

結果と考察

COS 粒子は、二次元断面では、インクルージョン（直径 ~2 μm）とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層（厚さ 1–2 μm）からなる、コアーマントル構造を示す。これと似た構造（空隙とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層）を示す COS 粒子は、Abe et al. (2017)[4]の SEM 観察により多数確認されている。これらの粒子は、元々在ったインクルージョンが、試料研磨時に脱離した可能性がある。

電子線回折および化学組成分析の結果、インクルージョンは、Na 硫酸塩の単結晶であることがわかった。

また Fe-O-S-Ni 層の STEM-EDS 元素マップ分析を行ったところ、インクルージョンをコアとする同心円状の 3 層構造をもつことがわかった。コア側から、①やや粗粒（100–200 nm）の FeS とマグネタイトからなる層、②マグネタイトとペントランダイトからなる数十 nm スケールのシンプレクタイト組織層、③Fe 酸化物のみからなる層である。②の層は、マグネタイトの結晶方位に着目すると、径 100–300 nm のドメイン構造をもつ。このドメイン構造は、元々在ったこのサイズの Fe-Ni 金属粒子等を置き換えて形成したと考えられる。

Na 硫酸塩による金属鉄の腐食を模擬した実験[e.g.,5]では、金属鉄板と Na 硫酸塩を接触させ N_2-O_2-SO_2 ガス中で加熱し（>600℃）、接触面に①に似た FeS と Fe 酸化物の混合層や、②に似た FeS－Fe 酸化物ラメラが形成したことを報告している。本研究の COS 粒子は、これと同様の反応過程を経て形成した可能性がある。このような高温条件下での metal-sulfate 反応は、COS が隕石母天体に集積する前に起こった可能性が高い。一方、最表面の③Fe 酸化物層は、母天体集積後の水質変成により COS 粒子表面が酸化され形成した可能性がある。

これらの形成過程は他の多くの COS 粒子にも当てはまる可能性があり、起源を推定する重要な手掛かりになると考えている。

参考文献

[1] Sakamoto et al. (2007), *Science* **317**, 231–233. [2] Seto et al. (2008), *GCA* **72**, 2723–2734. [3] Matsumoto et al. (2019), *JpGU*, PPS07-11. [4] Abe et al. (2017), *Geochem. J.* **51**, 3–15. [5] Buscaglia et al. (1990), *Corros. Sci.* **30**, 327–349.

Keywords: Acfer 094 隕石, 宇宙シンプレクタイト, metal-sulfate interaction, TEM
***Corresponding author:** m_matsumoto@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R5P-02

H コンドライト隕石の変成温度解析：改良型 Lindsley 輝石温度計による試み

上原亮*(九大・院地球社会)，桑原義博(九大・比文)，島田和彦(九大・理)
中牟田義博(九大・博物館)，上原誠一郎(九大・理)，足立達朗(九大・埋文)

Metamorphic temperature analysis of H chondrites: An attempt using revised Lindsley's pyroxene thermometer

Ryo Uehara*(Kyushu Uni. ISGS), Yoshihiro Kuwahara (Kyushu Uni. SCS),
Kazuhiko Shimada (Kyushu Uni. Sci), Yoshihiro Nakamuta (Kyushu Uni. Mus),
Seiichiro Uehara (Kyushu Uni. Sci), Tatsuro Adachi (Kyushu Uni. Arc)

これまで小惑星の熱進化モデルについては多くの研究者が議論を展開してきた（Wood, 1979; Miyamoto et al., 1981; Yomogida and Matsui., 1984; McSween et al., 2002）。この熱進化モデルを考える上での重要なパラメーターとして，コンドライト隕石母天体の最高到達温度，年代，冷却速度などが挙げられている（McSween et al., 2002）。これらのパラメーターの中でも，母天体内部の最高到達温度については様々な地質温度計を用いて求められてきた（Olsen and Bunch, 1984; Nakamuta and Motomura., 1999; Kessel et al., 2002; Slater-Reynolds and McSween., 2005）。中でも， Lindsley (1983)による輝石温度計は他の温度計とは違い，同じ隕石内で斜方輝石(Opx)と単斜輝石(Cpx)の各々から温度を求めることができることから広く用いられてきた。しかし，これまで報告された単斜–斜方輝石間の温度差が 50～100°C程度と大きいことから，斜方輝石と単斜輝石で得られる温度のどちらが実際の変成温度を表しているのか，多くの議論がなされてきた。これを受けて，Nakamuta et al . (2017) は隕石中に存在する単斜輝石にコスモクロア輝石成分を考慮し，従来の Lindsley 輝石温度計にその成分を加えた改良型 Lindsley 輝石温度計を提案した。これにより，LL コンドライト隕石中の単斜輝石と斜方輝石から得られた変成温度の差が 20°C未満と,従来の輝石温度計を用いた先行研究の結果より精度の高い結果が得られることを報告した。本研究では Nakamuta et al. (2017) が考案した改良型 Lindsley 輝石温度計を用いて，H グループに属する変成度の異なる 4 タイプの隕石の変成温度の推定を行った。ここでは，その結果について報告する。

Keyword: H chondrite, Lindsley pyroxene thermometer, Kosmoclor, Peak temperature, Onion-shell model
*Corresponding author: Uehara.ryo.811@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Poster presentation | R8: Metamorphic rocks and tectonics

Fri. Sep 20, 2019 9:30 AM - 5:00 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 12:30 AM - 8:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R8: Metamorphic rocks and tectonics

[コアタイム] 12:00〜14：00

[R8P-01] Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic

*Juliah Wangari Muriuki[1], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Martin Svojtka [3] (1. Okayama Uni., 2. Kyoto Uni. , 3. Institute of Geology CAS)

[R8P-02] Estimation of P-T path of garnet peridotite from a northeastern part of the Su-Lu region, China

「発表賞エントリー」

*Yu Oikawa[1,2], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Tomoaki Morishita[3], Akihiro Tamura[3], Hajime Yamane[1] (1. Okayma Uni. Sci., 2. Kyoto Uni. Sci., 3. Kanazawa Uni. Sci.)

[R8P-03] Impure metacherts, archives of multi-stage mineral growth, portray the shallower part of the subduction zone

*Wataru J YABUTA[1], Takao HIRAJIMA[1] (1. Grad. Sci., Kyoto Univ.)

[R8P-04] Petrography of greenschist rock collected near the southwest border of Munakata City, Fukuoka Pref., Japan

*Shunji TOJO[1] (1. Fukuoka Kyoiku Daigaku)

[R8P-05] Chemical compositions of metamorphic rocks in the Kanzaki City, Saga Prefecture.

*Tomoharu Miyamoto[1] (1. Kyushu University)

[R8P-06] Microstructure in Pyroxene of Ultra-High Temperature Metamorphic Rock from Antarctica

*Shoichi Toh[1], Tomoharu Miyamoto[2] (1. Fukuoka Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. Sci.)

[R8P-07] Metamorphic textures and garnet REE variation of Fe-Al-rich granulites in north Sør Rondane Mountains, East Antarctica

*Sotaro Baba[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Tomokazu Hokada[3], Tatsuro Adachi[2], Tsuyoshi Toyoshima[4] (1. University of the Ryukyus, Edu., 2. Kyushu University, 3. National Institute of Polar Research, 4. Niigata University, Sci)

[R8P-08] **Corundum and quartz inclusions in pelitic gneiss from Sør Rondane Mountains, East Antarctica**

*Tomokazu Hokada[1,2], Yasihito Osanai[3], Nobuhiko Nakano[3], Tatsuro Adachi[3], Tsuyoshi Toyoshima[4], Sotaro Baba[5] (1. National Institute of Polar Research, 2. The Grauate University of Advanced Studies, 3. Kyushu University, 4. Niigata University, 5. University of the Ryukyus)

[R8P-09] **Geology of the eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: Missing link to Sri Lanka**

Kazuyuki Shiraishi[1], *Tomokazu Hokada[1,2], Yoshikuni Hiroi[1,3], Yoshihumi Nogi[1,2], Yoichi Motoyoshi[1,2] (1. National Institute of Polar Research, 2. The Grauate University of Advanced Studies, 3. Chiba University)

[R8P-10] The variation of detrital zircon provenance for crystalline schists of the Sangun metamorphic belt in the northern Kyushu, Southwest Japan

*Ippei Kitano[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1] (1. SCS, Kyushu Univ.)

[R8P-11] Pressure–temperature condition of pelitic gneisses from the Mutis Metamorphic Complex, Timor Island, Indonesia

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Nugroho Imam Setiawan[2] (1. Kyushu University, 2. Universitas Gadjah Mada)

[R8P-12] Reaction microstructures in corundum-bearing granulite at western boundary of Eastern Ghats Belt, India

「発表賞エントリー」

*Fumihiko Sato[1], Kaushik Das[1] (1. Hiroshima Uni. Grad. Sci.)

[R8P-13] Deformation characteristics of constituent material of slickenside

*Jun-ichi Ando[1], Naotaka Tomioka[2], Hiroyuki Kagi[3], Takehiro Hirose[2] (1. Hiroshima Univ., 2. Kochi Core Center, 3. Univ. Tokyo)

[R8P-14] Deformation characteristics of antigorite serpentinites exposed at Sasaguri area, Fukuoka Prefecture

*Yuki Iwasaki[1], Jun-ichi Ando[1], Das Kaushik[1], Dyuti Prakash Sarkar[1], Seiichiro Uehara[2], Hiroaki Ohfuji[3] (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. Kyushu Uni. , 3. Ehime Uni.)

[R8P-15] Constraint on the low-temperature mylonite and phyllonite formations along the Median Tectonic Line in the Oshika district, Nagano

*Yoshihiro Nakamura[1] (1. AIST)

[R8P-16] Polymetamorphic history of the Oki Gneiss inferred from monazite and xenotime CHIME petrochronology

*Shunsuke Endo[1], Hiroshi Yoshida[1] (1. Shimane Univ.)

R8P-01

チェコ共和国、ボヘミアの山塊における超高圧ざくろ石かんらん岩の鉱物学的不均一性

ムリウキ・ジュリア*、中村大輔（岡山大学）、平島崇男（京都大）、マルチンースフォイッカ（チェコ科学アカデミー）

Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic

Juliah MURIUKI*, Daisuke NAKAMURA (Okayama Univ.), Takao HIRAJIMA (Kyoto Univ.), Martin SVOJTKA (Czech Academy of Sciences)

Previous studies on Nové Dvory garnet peridotites indicated that they lacked spinel and experienced decompression with significant cooling after the peak pressure-temperature (*P-T*) conditions of about 5.5 GPa and 1200 ºC (Medaris et al., 2005). Our petrographic study revealed the occurrence of Al- and Cr-rich spinel, Na- and Fe-poorer clinopyroxene than previously reported and chemical heterogeneity in garnet. We classified the garnet peridotites into three types, based on the chemical compositions of garnet and constituent minerals, as follows:

Type A - includes Cr-rich spinel and Cr-rich garnet,
Type B - includes Cr-poor garnet and no spinel, and
Type C - includes Cr-rich and Al-rich spinel and both Cr-rich and Cr-poor garnet.

The finding of spinel relics {Cr# = Cr/(Cr+Al) ~ 0.6–0.7} in garnet from the type A peridotite suggests that the Nové Dvory peridotite body might have been located at relatively shallow depths prior to ultrahigh-pressure metamorphic stage of > 4 GPa. A type C sample contains an Al-spinel inclusion in garnet, Cr-spinel in the matrix, relatively Cr-rich (~ 0.15 atoms per formula unit (apfu) based on O = 12) and Cr-poor (~ 0.06 apfu) garnet in the same thin section. Garnet in type A tends to be richer in Cr (0.10–0.27 apfu) than garnet in type B (0.06–0.12 apfu). The Al-rich spinel inclusion in garnet is surrounded by symplectite comprising of serpentine and is possibly an unreacted relic of an earlier low-*P* stage.

We used Cr-in-clinopyroxene barometer, Fe^{2+}-Mg exchange-type geothermometers and garnet-orthopyroxene barometer to establish the *P-T* history of the garnet peridotites. Core compositions of clinopyroxene inclusions in garnet and the host garnet yielded 978–1002 ºC, 4.87–5.12 GPa (type B) and 1034ºC, 4.93 GPa (type C), as Stage I. As garnet in type A peridotite lacks clinopyroxene inclusions, the pairs of core compositions of the matrix garnet and pyroxenes yielded 1005–1072 ºC, 4.42–4.46 GPa (type A), as Stage II. For Stage II of type B/C, innermost garnet rims and cores of matrix pyroxenes surrounding garnet yielded 1222–1325 ºC, 5.03–5.67 GPa (type B) and 1189–1267 ºC, 5.59–6.97 GPa (type C).

We evaluated the pressure conditions for the Spl formation stages, assuming Spl coexisted with En, Prp and Fo, as from 3.4 to 4 GPa around 1000 ºC for Cr-rich Spl in type A (inclusion) and type C (matrix) and 0.55 GPa around 1000 ºC for Al-rich spinel of type C.

The occurrence of spinel and amphibole inclusions in garnet as well as our thermobarometric estimations using inclusion clinopyroxene and host garnet data indicate that the Nové Dvory peridotite body has existed as a medium *P/T* spinel peridotite, and then experienced prograde metamorphism equilibrating at high *P-T* conditions, transforming into garnet-peridotite and later being exhumed with significant cooling to crustal levels. Field relationship between *HP/UHP* ultramafic rocks in the Nové Dvory peridotite body is mostly unclear, but type B is the most abundant rock type and prevails over types A and C. Such chemical heterogeneity (especially in Cr contents of garnet) may have been created by mechanical mixing of different rock types (i.e., Cr-rich and Cr-poor types) during the compression and/or decompression stage(s).

Keywords: garnet peridotite, spinel, ultra-high pressure
Medaris et al. (2005) *Lithos*, 82, 1-23.
* Corresponding author: pk386ifi@s.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-02

中国蘇魯地域北東部に産するザクロ石カンラン岩の温度圧力履歴の推定

老川 柚[1,2]、中村 大輔[1]、平島 崇男[2]、森下 知晃[3]、田村 明弘[3]、山根 創[1]
([1]岡山大学、 [2]京都大学、 [3]金沢大学)

Estimation of P-T path of garnet peridotite from a northeastern part of the Su-Lu region, China

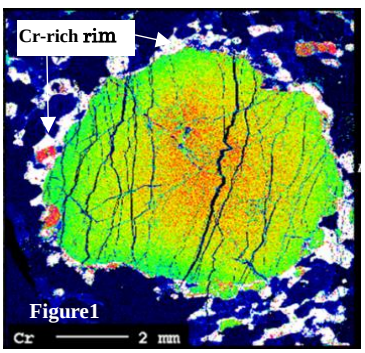
Yu Oikawa*[1,2], Daisuke Nakamura[1], Takao Hirajima[2], Tomoaki Morishita[3], Akihiro Tamura[3], Hajime Yamane[1] ([1]Okayama Univ. [2]Kyoto Univ. [3]Kanazawa Univ.)

中国蘇魯地域北東部の栄成地区 Chijiadian で採集されたザクロ石カンラン岩は、地質温度圧力計の適用から少なくとも 4GPa 以上の超高圧条件を経験したことが知られている[1]。一方で、この岩石がそのような超高圧ステージ以前に加圧を経験した証拠はほとんど報告されていない。そこで、本研究ではこの岩石の温度圧力履歴の推定を試みた。

本研究試料は、直径約 1cm のザクロ石巨晶を含み、matrix は細粒(粒径 1-2mm 程度)なザクロ石、単斜輝石、直方輝石、カンラン石、角閃石などからなる。分析の結果、ザクロ石巨晶は core から mantle にかけてほぼ均質 (Mg:Fe:Ca=68mol%:20mol%:12mol%)だが、rim で Fe が増加し、Mg と Ca が減少する (Mg:Fe:Ca=66mol%:24mol%:10mol%) 組成累帯構造が観察された。また、ザクロ石巨晶は一部の rim を除いて Cr に乏しいが (Cr<0.035apfu,O=12)、Cr 含有量が不連続に多くなる rim (以下 Cr-rich rim とする,Cr=0.05-0.11apfu, O=12, Figure1) が存在する。この Cr-rich rim は細粒なザクロ石と類似した主要元素、微量元素(Zr,Y,HREE)組成を示した。また、matrix の単斜輝石と直方輝石 (Al=0.005-0.015apfu, O=6) は化学組成においてほぼ均質である。このことから、ザクロ石巨晶の Cr-rich rim は細粒なザクロ石や単斜輝石、直方輝石と同時期に形成したと考えられる。更に、巨晶中の包有物として、core では Cr-rich rim には見られない Al に富む直方輝石(Al=0.09-0.17apfu)やスピネル、緑泥石などが確認された。よって、core は Cr-rich rim よりも低圧下で形成したと推察される。そこでザクロ石巨晶の core と包有物の直方輝石、Cr-rich rim と matrix の直方輝石をペアにとり、地質温度圧力計(Grt-OPX 地質温度計[2]、Grt-OPX 地質圧力計[3])を適用した。その結果、core で 660℃,1.0GPa、Cr-rich rim で 770℃,4.1GPa という温度圧力条件が得られ、Cr-rich rim の方がより高温高圧条件だった。

以上より、このザクロ石巨晶は比較的低温かつ浅部で (660℃,1.0Pa) 成長し、その後急速な加圧により Cr-rich rim が形成し(770℃,4.1GPa)、最後に地表まで上昇したと考えられる。また、このザクロ石巨晶は rim で Fe が増加し、Mg が減少する「後退型」の組成累帯構造を持つが、実際には上記のような昇温加圧過程で形成したものである。

Y 含有量は core (29.69ppm)から Cr-rich rim (11.04ppm)にかけて不連続に減少した。このような変化は Cr-rich rim の成長過程で起きた系の乱れが原因だと考えられる[4]。これらの事実から、Cr 含有量を増加させる流体の流入などの交代作用により、Cr-rich rim が形成したのかもしれない。



引用文献 [1] Hiramatsu et al. (1995): The Island Arc, 4, 324-333 [2]Harley (1984): Contrib Mineral Petrol (1984), 86:359-373 [3]Nickel and Green (1985): Earth and Planetary Science Letters (1985), 73, 1: 158-170 [4]Zhang et al. (2009): Lithos, 109, 176-192

Keywords: garnet peridotite, Su-Lu region, Chijiadian
*Corresponding author:
oikawa.yuu.34m@st.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Impure metacherts, archives of multi-stage mineral growth, portray the shallower part of the subduction zone

YABUTA Wataru* and HIRAJIMA Takao

Graduate School of Science, Kyoto University

Metamorphic reactions taken place in the root zone of the orogenic belts are well constrained in the igneous and pelitic rocks systems (e.g., Spear, 1993). On the other hand, those in “impure” cherts, siliceous ooze mixed with numerous varieties of oceanic sediments and deposits (cf. Kato et al., 2011) in other words, are still under the veil.

As a rare case, Reinecke (1986) clarified systematic de-oxidation and de-hydration reactions in Mn-bearing metacherts under higher-blueschist facies (400-500°C, 0.6-1.0 GPa), in Greece. Ibuki & Hirajima (2010) reported the occurrence of Mn-bearing hydrous minerals (howieite, Mn-bearing lawsonite &c.) is closely associated with the oxidation state in impure Mn/Fe-rich metacherts under lower-blueschist facies (200-300°C, 0.45-0.80 GPa; Sato et al., 2016) collected from the Kurosegwa belt in Yatsushiro, Kyushu, Japan. These predecessors show that oxygen clues us on the hydration and metamorphism of impure metacherts, and the oxidation state must be weaved into the subduction story.

This study aims to clarify the relationship among mineral growths and deformations in “impure” metacherts of the Kurosegwa belt in Yatsushiro, with locally comprehensive data. Further investigation from Ibuki (2010) on hydrous Mn-minerals under lawsonite-blueschist (LBS) facies is carried out. This study also deals with fascinating fabrics of metacherts to read the history of fluid activities and deformations. Impure cherts are to draw a lively image of the shallower part of a subduction zone.

The metachert samples are featured by multi-stage mineral growth. The first, near-peak stage comes with high-pressure minerals including lawsonite, pumpellyite/okhotskite, piedmontite, Na-pyroxene and Na-amphibole. In later stages, straight-shaped veins cut layers of peak metamorphic minerals (OT10J &c.), implying the brittle deformation during the later stage. Both the mineral growths are accompanied by fluid infiltration and deformation to form extraordinary fabrics.

At the near-peak stage, a suite of above-mentioned hydrous minerals is developed. The sample KY1822 contains over 30 vol% of Mn-bearing lawsonite, which enables 4 wt% water content. Some near-peak minerals (e.g., lawsonite, Na-pyroxene) form mono mineral veins with zig-zag shapes, suggesting plastic deformation (KY1830a). Rounded quartz aggregates, i.e. former radiolarians, nearby the zig-zag veins in the rock matrix imply the heterogeneous deformation even at the peak stage.

The post-peak veins are mostly mono mineralic, consisting of todorokite and Ba-bg. adularia. Todorokite is remarkable for containing fluid mobile elements (i.e., Ba and K), 10 wt% of H_2O and Mn^{4+}, which represents extremely high oxygen fugacity. Other veins add Aeg-rich part to near-peak Na-pyroxene veins, suggesting alkali-rich fluids(cf. Malaspina et al., 2012). These facts strongly suggest that highly-oxidized and alkali-rich fluids infiltrated in later stages. And to our surprise, no such post-peak veins are found in LBS in the study area, except for albite, calcite and quartz.

This study shows metacherts eloquently talk about mineral developments and fluid activities in the shallower part of a subduction zone. The rocks would carry water and oxygen into the deep-earth, and undergo fluid activities between the near-peak and the exhumation stages. The origins of the fluids in each stage yet need identified. However, these findings, together with further progressive investigation on metacherts, are to reform our idea on the subduction zone.

Keywords: subduction zone, metacherts, deep-fluids

*Corresponding author: yabuta.wataru.25n@st.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-04

福岡県宗像市南西部市境域に産する緑色結晶片岩

棟上俊二*（福岡教育大学）

Petrography of greenschist rock collected near the southwest border of Munakata City, Fukuoka Pref., Japan

TOJO, Shunji* (Fukuoka Kyoiku Daigaku)

Greenschist rocks were underlain across the southwestern border of Munakata City, Fukuoka Pref., Japan. There are several grains of garnet found in above greenschist, which might be related with overprinting actinolite and hornfelsic occurrence at hand specimen as a result through thermal metamorphism by the Cretaceous plutons.

福岡県の変成岩体の代表的なものとして三郡蓮華帯がある。山本（1997）には宗像市南西端の市境付近の分布が記載されている。新修宗像市史編集委員会（2019）にもあるように，市内に限定すれば，その分布域は東西約 0.3〜0.5km 程度，南北約 0.5km 程度の狭い範囲のものだが，市境を挟んで三郡山地の変成岩体までほぼ連続して分布している。市域内では岩質としては緑色片岩すなわち塩基性片岩が殆どを占めており，野外調査の場ではホルンフェルス化している事に気づく事であろう。

鉱物組み合わせは，細長いアクチノ閃石と粒状の斜長石がみられ，ほかに不透明鉱物や少量の石英が含まれると記されている（山本，1997)。その他にも緑色片岩として通常含まれる，普通角閃石・緑泥石・(±) 緑れん石は普通に含まれている。鏡下での特徴としてはアクチノ閃石は場合によって著しく定向性に欠く場合があり，既存の片岩組織に明らかに「上書き」している様相である。このアクチノ閃石は明らかに新しいもので，ホルンフェルス化の段階で生じたものと考えられ，白亜紀花崗閃緑岩の貫入に伴う熱変成の影響と考えられている。

一般的な緑色片岩がそうであるように，本地域のものも無色鉱物と有色鉱物が交互に縞状をなす様子が観察される。ごく稀に，この無色鉱物のレイヤー中にざくろ石を産するものが存在する。この場合は無色鉱物のみならず緑れん石等も産しており，成因について議論を頂きたい。

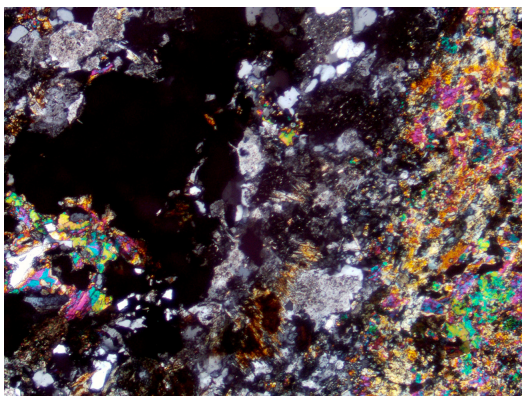


図１．直交ニコル，底辺約 1.2㎜

引用文献

新修宗像市史編集委員会（2019）: 新修宗像市史　うみ・やま・かわ一地理・自然一，宗像市発行，PP. 522.

山本博達（1997）:宗像市史通史編第１巻，第３章第２節「古生界」，104-107.

Keywords : the Sangun-Renge belt, greenschist rock, garnet, thermal metamorphism, New edition of Munakata City History

*Corresponding author: stojo@fukuoka-edu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

佐賀県神埼市に産する変成岩の化学組成

宮本知治(九州大学)

Chemical compositions of metamorphic rocks in the Kanzaki City, Saga Prefecture.

Tomoharu Miyamoto (Kyushu University)

Low to medium grade metamorphic rocks were found at the center area of the Kanzaki City, Saga Prefecture. They are composed mainly from basic schist with fine hornblende and plagioclase with subsequent quartz, and are partly found of pelitic schist with fine biotite and muscovite. They show similar schistosity with almost E-W direction. These are regarded as western extension of the Sangun-Renge belt (*e.g.*, Shibata and Nishimura, 1989; Nishimura, 1990). The basic schists were analyzed for whole rock composition by XRF system for be considered the origin. The basic schists were composed from 44.9 - 51.1 wt.% of SiO_2, 5.0 - 8.6 wt.% of MgO, 2.39 - 3.79 wt.% of Na_2O and 0.04 - 0.66 wt.% of K_2O. The composition has spread to both subalkali to alkali fields on $Na_2O + K_2O$ - SiO_2 diagram. On spidergram, moderate enrichment of LIL elements and negative spike on Nb were found for the basic schists. On the other hand, their HFS elements compositions were resembled to those of N-type MORB or E-type MORB (Sun and McDonough, 1989). Especially, their Ti-Y-Zr and Y-Zr-Nb relations were discriminated to within-plate basalts, MORB, island-arc-tholeiite, and calc-alkali basalts (Pearce and Cann, 1973), and within-plate tholeiite, N-type MORB and volcanic-arc basalts (Meschede, 1986), respectively. Considering these characteristics, it is considered that the basic schist originated from rocks equivalent to MORB added with alkali elements before metamorphism, or perhaps their original mafic rocks were produced by remelting of subducting MORB with a little crustal assimilation involved in its igneous activity.

Such a low to medium grade metamorphic rocks are also found at Asahiyama area, central Tosu City, Saga Prefecture, where is 15 km east from the schist location of the Kanzaki City. They are also basic schist with fine hornblende and plagioclase with subsequent quartz, and show schistosity with almost E-W direction. The schist which shows similar mineral assemblage and schistosity, also has similar chemical compositions of the schists collected from the Kanzaki City. Such low to medium schists are also found widely in north to south Chikugo region, east of the Tosu area. Compositional features of basic schists found around there are also resembled to the schists collected from the Kanzaki City. However, those schists are grouped into the Suo belt (*e.g.*, Nishimura, 1990). It seems difficult to distinguish these metamorphic rocks by their texture, mineral assemblage and chemical composition. Those rocks may have been formed by a series of metamorphism. Finally, detailed geochronological research is necessary about the elucidation of attribution and origin of the metamorphic rocks from the Kanzaki City.

References; Meschede, M. (1986): *Chemical Geology*, 56, 207-218. Nishimura, Y. (1990): Sangun metamorphic rocks. In Terrane problem in, eds. Ichikawa, K. et al., 63-78, IGCP Proj. 224: *Pre-Cretaceous Terranes of Japan*, Osaka City Univ. Pearce, J. A. and Cann, J. R. (1973): *Earth and Planetary Science Letters*, 19, 290-300. Shibata, K. and Nishimura, Y. (1989): *Mem. Geol. Soc. Japan.*, 33, 317-341 (in Japanese with English abstract). Sun, S.-S. and McDonough, W. F. (1989): In *Magmatism in the Ocean Basins*, ed. by A. D. Saunders and M. J. Norry. Oxford, Blackwell, 313-345.

Keywords: Basic Schist, Kanzaki-Saga, western extension of Renge belt, Origin.
*Corresponding author: miyamoto@geo.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-06

南極大陸産超高温変成岩中の輝石の微細組織の特徴

藤　昇一（福岡大学理学部）、宮本　知治（九州大学理学部）

Microstructure in Pyroxene of Ultra-High Temperature Metamorphic Rock from Antarctica

Shoichi TOH* (Fukuoka Univ. Faculty of Science),

Tomoharu MIYAMOTO (Kyushu Univ. Faculty of Science)

Microstructure in minerals may have traces of changes in temperature, pressure and strain. The purpose of the present study is to draw out these information from the microstructures. Careful observations and analysis using polarized microscope, SEM and EPMA of the characteristic exsolution texture reveal the history of its proprietary. We will mention the results and discuss the formation process microstructures and the host rock.

地球惑星物質を構成する岩石および鉱物には温度, 圧力, 応力の痕跡が残されている場合があり, それらの解析により形成史についての情報を得る事ができる. 南極大陸に産する超高温変成岩でも, 鉱物共生関係や組織に基づいて形成履歴が明らかにされてきた. 超高温変成岩は地殻下部において, 非常に高温の変成作用を被ることによって形成されたと考えられており, 一般にその最高温度は1000℃またはそれ以上と考えられている (Yoshimura et al., 2008 ほか).

本研究においては南極大陸において採取した超高温変成岩中の輝石内に, 特徴的な離溶組織を見出した. 輝石の離溶現象に関する研究から明らかとなっている基本原理に基づき, 組織形成プロセスについての作業仮説を立てた. 本研究ではその仮説を検証し, 必要に応じて再構築することで, 特徴的な組織形成に至った温度履歴を明らかにすることを目的とする. 具体的な方策としては, 偏光顕微鏡, SEM および EPMA を用い丹念な観察・分析を行った. さらに透過型電子顕微鏡をもちいて, 離溶相界面の方位を電子回折パターンおよび明視野像から明らかにする. 偏光顕微鏡による組織観察, および EPMA の分析結果からは, 母相とラメラ間で Ca と Fe のみが置換している可能性が示唆されている. 現在, 特にこの点について組織との相関を検討している。

化学組成および結晶学的データに基づき温度履歴を推定する. さらに変成岩岩石学的記載, 年代学およびフィールドでの産出状況を考慮し, 岩体が経た温度の変遷を解明するとともに大陸地殻下部構造について考察するための基礎データとする. 学会では以上の実験結果および考察について報告する.

Keywords: Metamorphic rock, Pyroxene, Microstructure, Exsolution

*Corresponding author: tohs@fukuoka-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-07

東南極セール・ロンダーネ山地北部に産する Fe-Al に富むグラニュライトの変成組織とザクロ石 REE の相違

馬場壮太郎（琉球大教育）・小山内康人（九州大比文）・中野伸彦（九州大比文）・外田智千（国立極地研究所）・足立達朗（九州大比文）・豊島剛志（新潟大）

Metamorphic textures and garnet REE variation of Fe-Al-rich granulites in north Sør Rondane Mountains, East Antarctica

S. Baba* (Univ. Ryukyus), Y. Osanai (Kyushu Univ.), N. Nakano (Kyushu Univ.), T. Hokada (NIPR), T. Adachi (Kyushu Univ.), T. Toyoshima (Niigata Univ.)

東南極セール・ロンダーネ山地北西，あすか基地の南西約 25km に位置するベストハウゲンは孤立した露岩である．主に閃緑岩～石英閃緑岩，黒雲母-角閃石片麻岩，角閃石片麻岩，珪線石-ザクロ石-黒雲母片麻岩より構成される(Shiraishi et al., 1992)．Osanai et al. (2013)は変成作用の温度圧力経路，砕屑性ジルコンの年代分布に基づき，セール・ロンダーネ山地を北西テレーンと南西テレーンに再区分した．ベストハウゲンから菫青石を含む片麻岩類が報告されていることから(Shiraishi et al., 1992)，北西テレーンに区分されている．本報告ではベストハウゲンにおいて第 49 次日本南極地域観測隊で採取された菫青石，スピネル（ヘルシナイト），ザクロ石を含む Fe-Al に富むグラニュライトに観察される変成組織と産状の異なるザクロ石の希土類元素含有量の相違について報告する．

Fe-Al に富むグラニュライトは，主に菫青石，スピネル，ザクロ石，アルカリ長石，斜長石から構成される．珪線石や斜方輝石を伴うことがあるが，両者は異なる試料にそれぞれ含まれる．以下のような変成組織が認められる．① ザクロ石は班状変晶として産するものと，スピネルやイルメナイトの周縁にコロナとして産するものがある．ザクロ石コロナはザクロ石斑状変晶のリムと同様の化学組成であることから，後退変成作用時に形成した可能性が高い．② 試料には多量のスピネルが認められ，微細で集塊として産するもの，珪線石の周辺でシンプレクタイトとして産するもの，比較的粗粒で内部に微細包有物を含むもの，ザクロ石の包有物として産するものなどがある．スピネルに包有される微細包有物はダイアスポア[AlO(OH)]が最も多く，まれに石英，コランダム，黒雲母などが認められる．スピネル（包有物を除く）の周縁には菫青石のコロナが発達する．③ アルカリ長石は，透明で内部に包有物を含まないものと，赤みを帯び内部に極微細なラメラやルチルを包有するものがある．これらのアルカリ長石には丸みを帯びた菫青石や短柱状の菫青石が認められる．また一部の菫青石の内部に自形のザクロ石が認められることがある．④ 斜方輝石は微細な黒雲母と石英のシンプレクタイトによって置換されることが多い．

変成温度圧力条件を，三成分系長石ソルバス温度計，地質温度圧力計，シュードセクション法を用いて推定すると，約 900～950℃，5±1 kbar が得られた．ザクロ石班状変晶とザクロ石コロナについて，Laser-ICP-MS を用いて希土類元素組成を測定したところ，両者には明瞭な差が認められた(Baba et al., in press)．REE に枯渇したザクロ石コロナの形成は，１）反応物相(スピネル，メルト）の REE 組成，または（２）ザクロ石成長中に HREE に富む副成分相（例えば、ジルコンおよびモナザイト）の結晶化に起因すると考えられる．

引用文献：Baba et al., (2019) Min. Petrol. in press. Osanai et al., (2013) Precamb. Res., 234, 8-29. Shiraishi et al., (1992) Antarctic Geol. Map Series Sheet 32, NIPR.

Keywords: Metamorphic textures, Grt REE, Sør Rondane Mountains, granulite

*Corresponding author,
baba@edu.u-ryukyu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

東南極セール・ロンダーネ山地の泥質片麻岩から見出されたコランダムと石英包有物の産状とその解釈

外田智千（極地研/総研大）・小山内康人・中野伸彦・足立達朗（九州大）・
豊島剛志（新潟大）・馬場壮太郎（琉球大）

Corundum and quartz inclusions in pelitic gneiss from Sør Rondane Mountains, East Antarctica

Tomokazu Hokada* (NIPR/SOKENDAI), Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.), Tsuyoshi Toyoshima (Niigata Univ.), Sotaro Baba (Univ. Ryukyus),

東南極セール・ロンダーネ山地には、640-500 Ma のゴンドワナ超大陸形成に関連する角閃岩相からグラニュライト相の高温変成岩類と関連する火成岩類が分布し（Shiraishi et al., 2008）、時計回りの P-T 経路を持つ北東部テレーンと反時計回りの P-T 経路を持つ南西部テレーンに区分されている (Osanai et al., 2013)。

北東部テレーンのアウストカンパーネ地域には、ザクロ石-珪線石-菫青石-黒雲母、ザクロ石-low-Ca 角閃石-菫青石-黒雲母、などの鉱物組み合わせを持つ泥質片麻岩類ならびに関連する変成岩類が分布する。

ザクロ石中には、スピネル、十字石、珪線石、コランダムなどの包有物がみられる。藍晶石は確認されない。十字石とスピネルはともに Zn に富み、珪線石安定領域での十字石の分解反応が示唆される。また、ザクロ石は菫青石のコロナに取り囲まれていることが多く、low-Ca 角閃石はコアからリムに向かって Al 含有量の顕著な低下が認められる。これらは、典型的な時計回りの P-T 経路を示し、北東部テレーンに位置することと調和的である。

コランダムは、粒径 10～50 ミクロンの自形～半自形結晶で、石英および黒雲母とともにザクロ石中の包有物として産する。ザクロ石中の包有物として近傍には、Zn に富むスピネル、ルチル、イルメナイトなどが認められる。コランダムは、石英と黒雲母に取り囲まれるような形状を示す。ザクロ石にはコア（alm63prp33grs02sps02）からリム（alm77prp15grs03sps04）への組成累帯構造が認められ、コランダムを含む包有物集合体やスピネルなどの包有物は prp 成分に富むコアの部分に産する。コランダムと共存する黒雲母中の F、Cl、TiO2 含有量はそれぞれ 0.5～0.8wt%、0.3～0.4wt%、1.3～1.8wt%で、試料中の他の黒雲母中の F(0.2～0.8wt%)、Cl(0.3～0.4wt%)、TiO2(0.6～2.4wt%)含有量と比べて顕著な特徴は認められない。なお、TiO2 含有量については、ザクロ石中の包有物として産する黒雲母中の TiO2 はマトリクスのものと比べて概して高い。スピネル中の ZnO 含有量は場所ごと粒子ごとに異なり、8～24wt%の範囲で大きく変化する。

コランダムと石英の共生は、かつては、高温でかつ高圧の変成条件の指標（例えば、Mouri et al., 2003）と解釈されることもあったが、高温高圧実験（Harlov and Milke, 2002; Harlov et al., 2008）によって、珪線石あるいは藍晶石の安定領域で準安定的にコランダムが石英とともに生成することを示し、本試料中のコランダムと石英もおそらく藍晶石と珪線石の安定領域境界近くでの準安定生成と考えられ、共存する鉱物共生や反応組織から解釈される温度圧力条件とも調和的である。本試料中のコランダムと石英は黒雲母を必ず伴うことも特徴である。

Harlov and Milke, 2002, Am. Mineral., 87, 424-432. Harlov et al., 2008, Am. Mineral., 93, 608-617. Mouri et al., 2004, JMPS, 99, 159-163. Osanai et al., 2013, Precamb. Res., 234, 8-29. Shiraishi et al., 2008, A Key to the East-West Gondwana Connection, GSL-SP 308, 21-67.

Keywords: Antarctica, corundum, pelitic gneiss

*Corresponding author: hokada@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

東南極ドロンイングモードランド東部の地質：スリランカとのリンク

白石和行（極地研）・外田智千（極地研/総研大）・廣井美邦（千葉大学）・
野木義史（極地研/総研大）・本吉洋一（極地研/総研大）

Geology of the eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: Missing link to Sri Lanka

Kazuyuki Shiraishi (NIPR), Tomokazu Hokada* (NIPR/SOKENDAI), Yoshikuni Hiroi (Chiba Univ.), Yoshifumi Nogi (NIPR/SOKENDAI), Yoichi Motoyoshi (NIPR/SOKENDAI),

ゴンドワナ超大陸の形成と関連する南極の原生代末期から古生代初期のテクトニクスはこれまで様々な議論や論争がなされてきた。日本の南極観測の活動エリアである東南極のドロンイングモードランド東部は、東西ゴンドワナの境界部に位置するとされる。この地域には東から西に向かってリュツォ：ホルム岩体（LHC）、やまと-ベルジカ岩体（YBC）、セールロンダーネ山地（SRM）という3つの原生代末期-古生代初期の高温変成-深成岩体が分布する。

リュツォ：ホルム岩体（LHC）は、中圧型で角閃岩相からグラニュライト相、一部超高温条件に達する累進的な変成度の上昇と時計回りの温度圧力径路で特徴づけられる (Hiroi et al, 1983, 1991; Motoyoshi et al., 1989; Kawasaki et al., 2011)。やまと-ベルジカ岩体（YBC）は、角閃岩相からグラニュライト相の変成岩類と関連する花崗岩質深成岩類が卓越する (Shiraishi et al., 1987)。LHC と比較して、YBC はやや低圧の変成条件が特徴づけられている。両岩体の変成作用の時期は 630-500 Ma (Shiraishi et al., 1992, 2003) とされてきた。

最近の地磁気データにより、しらせ氷河に沿った NW-SE 方向のリニアメント (Nogi et al., 2013) が、LHC と YBC の境界と示唆される。LHC からの新たな U-Pb 年代データの蓄積 (Dunkley et al., 2014; Tsunogae et al., 2014; Takahashi et al., 2018) や、地質学的・岩石学的データの再検討により、LHC は４つのサブユニット（Rundvag, Skalevik, Main, West Ongul units）に区分される。本発表では、それらの詳細について紹介する。

その上で、スリランカの最近の年代データ (例えば、Kitano et al., 2018) ともあわせて、LHC のサブユニットは Kitano et al. (2018) で示唆されるようにスリランカの Highland Complex 及び Wanni Complex と対比され、YMC は Shraishi et al. (1994) で示唆されていたようにスリランカの Vijayan Complex と対比される。

Dunkley et al., 2014, Extended abstract 7th International SHRIMP Workshop, 116-121. Hiroi et al., 1983, In: Oliver, R.L. et al. (Eds.), Antarctic Earth Science, 32-35. Hiroi et al., 1991, In: Thomson, M.R.A. et al. (Eds.), Geological Evolution of Antarctica, 83–87. Kawasaki et al., 2011, Gondwana Res., 19, 430–445. Kitano et al., 2018, J. Asian Earth Sci., 156, 122-144. Motoyoshi et al., 1989, In: Daly, J.S. et al. (Eds.), Evolution of Metamorphic Belts, GSL-SP 43, 325–329. Nogi et al., 2013, Precamb. Res., 234, 279-287. Shiraishi et al., 1987, In: McKenzie, G.W. (Ed.), Gondwana Six: Structure, Tectonics and Geophysics. Geophysical Monograph, 40, 309–318. Shiraishi et al., 1992, In: Yoshida, Y. et al. (Eds.), Recent Progress in Antarctic Earth Science, 67–73. Shiraishi et al., 1994, J. Geology, 102, 47-65. Shiraishi et al., 2003, Polar Geosci., 16, 76–99. Shiraishi et al., 2008, In: Satish-Kumar, M. et al. (Eds.), Geodynamic Evolution of East Antarctica: A Key to the East-West Gondwana Connection, GSL-SP 308, 21-67. Takahashi et al., 2018, J. Asian Earth Sci. 157, 245-268. Tsunogae et al., 2016, Lithos, 263, 239-256.

Keywords: Antarctica, Gondwana, Sri Lanka

*Corresponding author: hokada@nipr.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-10

西南日本九州北部に分布する三郡変成帯結晶片岩の砕屑性ジルコン後背地の多様性

北野 一平*，小山内 康人，中野 伸彦，足立 達朗（九州大）

The variation of detrital zircon provenance for crystalline schists of the Sangun metamorphic belt in the northern Kyushu, Southwest Japan

Ippei Kitano*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu Univ.)

三郡変成帯は西南日本内帯に広域的に分布している低温高圧型の変成帯であり、K–Ar・Rb–Sr 年代に基づいて 330–280 Ma の蓮華帯および 230–160 Ma の周防帯に区分されている（例えば Nishimura, 1998）。両者ともに、泥質片岩および苦鉄質片岩が卓越し、様々な規模の蛇紋岩岩体を伴う（例えば Nishimura, 1998）。詳細な地質調査と岩石学的解析から、最高変成条件としてエクロジャイト相～青色片岩相の温度圧力条件が推定されている（例えば Tsujimori, 2002; Li et al., 2017）。一方で、蓮華帯と周防帯の原岩特性に関する研究は乏しく、両者の原岩形成プロセスや地質学的な帰属は未だ不鮮明である。近年では、砕屑性ジルコンの U–Pb 年代に着目したアプローチが行われている（例えば Tsutsumi et al., 2003, 2011）。本研究では、蓮華帯および周防帯が分布する福岡県中央部・南部の砂泥質片岩から、LA-ICP-MS を用いて砕屑性ジルコンの年代測定を行い、原岩の後背地の年代学的特徴を明らかにした。

福岡県南部～熊本県北部の久留米－山鹿地域の三郡変成岩は周防帯に属し、福岡県中央部篠栗地域では蓮華帯と周防帯の両方が分布している。これらの三郡変成岩は白亜紀の花崗岩類に貫入され、局所的に接触変成作用を被っている。分析試料は、前者の地域から砂泥質片岩 3 試料（22301A1: 含アクチノ閃石－緑簾石－白雲母片岩、22409, 22405A: 緑泥石－白雲母片岩）、後者の地域で蓮華帯から 1 試料（12102A: 含緑簾石－黒雲母－緑泥石片岩）、周防帯から 1 試料（12106: 菫青石－黒雲母片岩）を分析した。これらの試料は片理が発達しているが、篠栗地域の試料は白亜紀花崗岩の貫入による接触変成作用の影響が認められる。

分析したジルコンの多くは、明瞭～弱い波動累帯構造の内部組織および高い Th/U 比（> 0.2）を示した。久留米－山鹿地域（周防帯）では、22301A1 は 2410–210 Ma の年代幅と 250–230 Ma の年代ピーク、22409 は 2590–240 Ma の年代幅と 270–250 Ma の年代ピーク、22405A は 930–240 Ma の年代幅と 270–250 Ma の年代ピークを示した。一方、篠栗地域では、12102A（蓮華帯）は 2900–280 Ma の年代幅と 300–280 Ma、440–420 Ma の年代ピーク、12106（周防帯）は 370–240 Ma の年代幅と 300–280 Ma の年代ピークを示した。

周防帯の試料では、最も若いジルコン年代は周防帯の変成年代（230–160 Ma）より古いが、その年代分布や年代ピークは一致しない。一方、蓮華帯の試料では、最も若いジルコン年代は蓮華帯の変成年代（330–280 Ma）とほぼ一致する。Tsutsumi et al. (2003, 2011)の報告データと概ね調和的だが、蓮華帯の試料に関しては 400–280 Ma の砕屑性ジルコンを含む点で大きく異なる。この結果は、蓮華帯と周防帯の両方で、砕屑性ジルコンの後背地に多様性があることを示唆し、両者の帰属を検討するにはより広範囲にジルコン年代による後背地の特徴づけが必要となる。

Keywords: crystalline schist, detrital zircon age, Sangun metamorphic belt, northern Kyushu, Southwest Japan
*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Pressure–temperature condition of pelitic gneisses from the Mutis Metamorphic Complex, Timor Island, Indonesia

Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari*, Yasuhito Osanai, Nobuhiko Nakano, Tatsuro Adachi (Kyushu University, Japan), Nugroho Imam Setiawan (Universitas Gadjah Mada, Indonesia)

Mutis metamorphic complex in the southwestern part of Timor Island, East Nusa Tenggara Province, Indonesia, consists of greenschist- up to upper- amphibolite-facies metamorphic rocks which distributed as several metamorphic massifs within this metamorphic complex. This study reports the petrological and geochemical characteristics of pelitic gneisses in Mutis metamorphic complex to estimate the pressure and temperature conditions of metamorphism. Greenschist-facies metamorphic rocks in Mutis metamorphic complex represented by the occurrences of garnet ± muscovite schist and garnet-biotite gneiss, meanwhile the amphibolite- to upper- amphibolite-facies metamorphic rocks represented by the occurrences of aluminosilicate minerals in garnet-bearing pelitic gneiss. X-ray compositional maps obtained from 5 garnet-bearing pelitic gneisses using Electron Probe Microanalyzer exhibit prograde zoning pattern in 4 rock samples which characterized by decreasing Mn and Ca content from the core to the rim with increase of Mg and Fe contents, meanwhile 1 rock sample of pelitic gneiss containing sillimanite exhibits homogenous wide core with retrograde thin rim. Pressure and temperature condition obtained from garnet–biotite geothermometer and garnet–aluminosilicates–quartz–plagioclase (GASP) geobarometer indicate temperature of 560–710°C with pressure of 7.2–10 kbar for garnet–biotite–muscovite gneiss, temperature of 525–610°C with pressure of 3.7–7 kbar for garnet–staurolite–biotite–muscovite gneiss with fine-grained kyanite in the matrix, temperature of 650–790°C with pressure of 7.5–14 kbar for garnet–kyanite–staurolite–biotite gneiss, and temperature of 650–810°C with pressure of 2.5-9 kbar for garnet–sillimanite–cordierite–biotite gneiss. Partial replacement of garnet grain by biotite, chlorite, and other secondary minerals suggest that metamorphic rocks in Mutis metamorphic complex are affected by retrograde metamorphism during cooling. Further discussion about the result of thermobarometry using Raman Spectroscopy of graphite and quartz, as well as monazite U–Th–Pb dating will be conducted during the presentation.

Keywords: Geothermobarometry, P-T condition, Mutis Metamorphic Complex, Timor

*Corresponding author: fransiskaayuni@gmail.com (Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

インド東ガーツ造山帯西縁境界に露出する コランダムを含むグラニュライトの反応微細組織観察

佐藤史彦*, ダス カウシク
（広島大・院・理）

Reaction microstructures in corundum-bearing granulite at western boundary of Eastern Ghats Belt, India

Fumihiko Sato*, Kaushik Das
(Hiroshima Uni. Grad. Sci)

造山運動は、大陸衝突帯や沈み込み帯で起こり地殻深部の岩石を地表付近まで上昇させ、地球規模の山脈を形成する。地殻変動による造山運動を理解するためには、造山帯に露出する地殻深部起源のグラニュライト相の岩石の微細組織観察が重要である。また造山帯の中でも中央部よりクラトンとの境界部の方が、多くの変成・変形のステージの情報を保存している可能性が高い。

本研究地域は、Proterozoic の造山帯であるインド東ガーツ帯(EGB)である。この地域は古くから、異常に高温な広域変成作用である超高温変成作用[1](＞900℃, ~1GPa, UHT)を受けた超高温変成岩が露出している[2]。

長年 EGB の中央部、東部の研究はよく行われてきたが、造山帯とインドクラトンの西境界のデータは、重要な地域であるにも関わらずデータが不足している[3]。

そのため本研究では西境界地域のミグマタイト地域に露出するグラニュライト相の片麻岩を用いて研究を行った。試料からはコランダムを含むグラニュライトが見つかり corundum+spinel+garnet+magnetite+ilmenite+sillimanite+quartz+plagioclase+K-feldspar+biotite の鉱物組み合わせが見られた。

偏光顕微鏡と走査型電子顕微鏡(SEM)による鉱物の組み合わせと反応微細組織の観察、電子線マイクロアナライザ(EPMA)による鉱物の化学組成分析を行った。また、地質温度圧力計を用いて温度圧力条件を推定した。

微細組織観察から4つの変成ステージ分けをし、それぞれのステージの温度圧力条件を推定した。ピーク条件は、(＞950℃, 8.2–9.3 kbar)と見積もった。本発表では、ステージごとの鉱物組み合わせと反応微細組織、推定した変成条件について詳細な報告をする。

References: [1] Osanai et al. (2017) Geol. Soc. Japan, 123, 10, 879-906. [2] Dasgupta et al. (2013) Precambrian Research, 227, 247–258. [3] Chatterjee et al. (2017) Lithos, 290–291, 269–293.

Key words: corundum-bearing UHT granulite; western boundary; EGB, India

***Corresponding author**: E-mail address (m195399@hiroshima-u.ac.jp)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

鏡肌を構成する物質の変形特性

安東淳一*（広島大），富岡尚敬（JAMSTEC・高知コア研），
鍵裕之（東京大学），廣瀬丈洋（JAMSTEC・高知コア研）

Deformation characteristics of constituent material of slickenside

J. Ando* (Hiroshima Univ.), T. Tomioka (JAMSTEC), H. Kagi (Univ. Tokyo), T. Hirose (JAMSTEC)

断層岩は断層運動によって形成された岩石であるため，断層運動の素過程を反映した微細組織を保持している。本研究が対象とした鏡肌は，断層面上に普遍的に認められる平滑で鏡の様な光沢を持つ面として知られているが，「マイロナイト」や「シュードタキライト」などの断層岩と比較して，研究例は非常に限られている。発表者らはここ数年，様々な岩石種に発達した鏡肌の微細組織の観察と，断層運動の模擬実験を通じて，鏡肌を有する断層，および鏡肌を構成する物質の変形特性の研究を続けてきた。その結果，鏡肌を有する断層の運動特性は地殻の強度特性に大きな影響を与える可能性が強いことが明らかとなった。

研究方法： 天然に露出する鏡肌の観察には，チャート，石灰岩，角閃岩，蛇紋岩，クロム鉄鉱岩，炭質泥岩，砂岩，泥岩，凝灰角礫岩中に発達する計 15 種類の試料を用いた。微細組織の観察には，偏光顕微鏡と共に，高空間分解能機器として原子間力顕微鏡，分析透過型電子顕微鏡，電子線後方散乱回折装置付き走査型電子顕微鏡，放射光起源の軟 X 線照射による XANES 測定を用いた多角的な方法を用いた。また鏡肌を再現する断層運動の模擬実験では，高速回転摩擦試験機と二軸摩擦試験機を使用し，Carrara marble の「ブロック」と「粉末」の 2 種類を実験に用いた。実験条件は，高速回転摩擦試験機と二軸摩擦試験機に対して各々，垂直応力 1.0-10.0 MPa，すべり速度 0.1 m/s，すべり変位量は最大 5.0 m と，垂直応力 10-80 MP，すべり速度 30 μm/s，すべり変位は最大 111.5 mm とした。

結果： 本研究において最も重要な結果をまとめる。1) 鏡肌は断層運動の際に生じる「脆性変形」と「摩耗」が，断層面近傍（約 50 μm - 100 μm）に集中することで生じる。2) この約 500 μm - 100 μm の領域は，摩耗によって形成されたナノサイズスケールの粒子から構成されている。そして，このナノサイズスケールの粒子は結晶質（すなわちチャートでは石英，石灰岩と大理石では方解石）であることが分かった。3) 実験の結果からは，「垂直応力」と「すべり距離」が増大するとともに鏡肌の形成率が増大し，かつ「摩擦係数」も低下することが明らかとなった。そして特に重要なことは，断層面が鏡肌で覆われている実験では，実験直後に摩擦係数が約 0.2 程度となったことである。このことは，一旦鏡肌が生成された断層面は，クリープ性断層運動につながりえることを示唆する。

Keywords: Slickenside, Microstructure, Fault strength, Frictional coefficient
*Corresponding author: jando@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福岡県篠栗地域に露出する アンチゴライト蛇紋岩の変形特性

岩﨑夕季（広島大）、安東淳一（広島大）、Das Kaushik（広島大）、Sarkar Dyuti Prakash（広島大）、上原誠一郎（九州大）、大藤弘明（愛媛大）

Deformation characteristics of antigorite serpentinites exposed at Sasaguri area, Fukuoka Prefecture

Y. Iwasaki* (Hiroshima Univ.), J. Ando (Hiroshima Univ.), K. Das (Hiroshima Univ.), D. P. Sarkar (Hiroshima Univ.), S. Uehara (Kyushu Univ.), H. Ohfuji (Ehime Univ.)

はじめに: アンチゴライト(Atg)蛇紋岩の変形特性は、上部マントルや下部地殻を構成する岩石の上昇過程に大きな影響を与えている。本研究では、上原(1987)で報告されている福岡県篠栗地域に露出する粗粒 Atg 蛇紋岩に着目し、変形のメカニズムと形成条件を明らかにすることを目的として研究を進めている。

研究手法: 本研究では、1）粗粒 Atg 蛇紋岩体中に、幅数 10 m のマイロナイト帯（面構造の走向は約 N80° E、北に 80° で傾斜）と 2）Atg 蛇紋岩体分布域内に露出する、上記したマイロナイト帯と構造的整合性を持つ珪質片岩を発見し、微細組織の見地から研究を進めている。研究の手法は主に、偏光顕微鏡と SEM を用いた微細組織観察、SEM-EBSD を用いた結晶方位測定を行っている。

結果と考察: 研究対象とした粗粒 Atg 蛇紋岩体中を微細組織により区分すると、マイロナイトに向かい、1）粗粒 Atg 蛇紋岩、2）粗粒-細粒 Atg 蛇紋岩、3）マイロナイト Atg 蛇紋岩の 3 タイプに分類できる。1）は緑色塊状を呈し、数 mm-1 cm の鱗片状 Atg から構成される。Atg は定向配列を示さないが、顕著な波動消光を示す。2）中の Atg の粒径や無定向配列の様子は 1) のものと同一であるが、Atg 単結晶内部で動的再結晶に伴う亜結晶化が進行している。3)は緑色を呈し、約 10 um の針状 Atg の[010]が線構造に平行に、(001)面が面構造にほぼ平行に発達することでマイロナイトが形成されている。これらの観察結果は、タイプ 1）から 2)、3）の順に、Atg 結晶中の欠陥形成（亜結晶粒の形成）と、その後の細粒化、定向配列の形成によって Atg の塑性変形が進行することを示唆する。

珪質片岩中の石英の c 軸 CPO は、ポーフィロクラストでは Y-max、ネオクラストでは Type-I crossed girdle が発達する。このことは、珪質片岩は 500℃程度の温度で定常変形した後に、より低温下で塑性変形を被ったことを示唆している。また、粗粒 Atg 蛇紋岩体に近接する南部地域には角閃岩が露出している。この角閃岩について Otten(1984)のホルンブレンド温度計は 550-700 ℃を示す。これらの温度と Atg 蛇紋岩の上昇過程の関係について議論を進めたい。

Keywords: Antigorite, Plasticity, microstructure
*Corresponding author: m186027@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R8P-15

長野県大鹿村地域の中央構造線に分布する低温型マイロナイトと phyllonite の形成ステージの制約

中村佳博* (産総研)

Constraint on the low-temperature mylonite and phyllonite formations along the Median Tectonic Line in the Oshika district, Nagano

Yoshihiro NAKAMURA* (Geological Survey of Japan, AIST)

長野県大鹿村地域に分布するマイロナイト中には，石英長石質なウルトラマイロナイトと黒色で雲母からなる phyllonite が中央構造線近傍に分布している(Takagi, 1986)．これらのマイロナイトの形成環境と源岩を推定するために，詳細なマイロナイトの解析と三波川変成岩・領家変成岩の U-Pb 年代測定を実施した．

上盤側の領家花崗岩に関しては，石英長石質なウルトラマイロナイトを選定し，U-Pb 年代測定を実施した．このマイロナイトは，再結晶石英の EBSD 分析より中温型のマイロナイト化を受けた後に低温型のマイロナイト化を被った試料である．このウルトラマイロナイトからジルコンを抽出し U-Pb 年代測定を実施すると 69.0 ± 0.6 Ma (n=10)の源岩固結年代をえることができた．この固結年代をもとに花崗岩の冷却カーブを推定すると中温型マイロナイト化と低温型マイロナイト化年代をそれぞれ~67Ma と~65Ma に再定義することができた．低温型マイロナイトの形成年代は柴田・高木ほか(1988)で報告した phyllonite の白雲母 K-Ar 年代(64.7 ± 2.1Ma)ともよく一致しており，低温型マイロナイト化の過程で phyllonite が形成されたと推定される．

下盤側の三波川変成岩に関しては，ザクロ石帯に分布し鹿塩マイロナイトと同様の左横ずれセンスを示す泥質岩中ジルコンの U-Pb 年代を測定した．U-Pb 年代測定を実施すると最も若い粒子と最も若いクラスター年代は，それぞれ 70.7 ± 1.5 Ma と 71.2 ± 0.91 Ma(n=4)となった．白雲母の K-Ar 年代に関してはすでに柴田・高木ほか(1988)によって 63-65 Ma の年代が報告されている．つまり 70Ma 前後に堆積した後に 63-65 Ma には低温高圧型の変成作用を受けたことが推定される．この変成年代は，低温型マイロナイトの形成年代ともよく一致しており，沈み込み帯において上盤側の領家変成岩と下盤側の三波川変成岩が中央構造線にそって接合したタイミングといえる．

[**参考文献**]: H. Takagi, J. Struct. Gel. 8 (1986) 3-14. Shibata, H. Takagi, J. Geol. Soc. Jpn., 94 (1988) 35-50.

Key wards: Kashio mylonite, Ryoke metamorphic rocks, Sambagawa metamorphic rocks, U-Pb ages

*Corresponding author: yoshi-nakamura@aist.go.jp (Yoshihiro Nakamura)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

モナザイト・ゼノタイム CHIME 岩石年代学による隠岐片麻岩の複変成履歴

遠藤俊祐*・吉田 宏（島根大）

Polymetamorphic history of the Oki Gneiss inferred from monazite and xenotime CHIME petrochronology

S. Endo* and H. Yoshida (Shimane University)

隠岐島後に環状に露出する隠岐片麻岩の変成作用のピークは CHIME モナザイト年代より約 250Ma とされる（Suzuki and Adachi, 1994）．近年，隠岐片麻岩の原岩年代および初期の変成年代は古原生代にまで遡ることが明らかにされた（Tsutsumi et al., 2006; Cho et al., 2012）．本研究は，古原生代の変成作用の広がりや変成履歴を明らかにするため，隠岐片麻岩の分布全域の泥質片麻岩の岩石学的解析と CHIME 年代測定を進めている．

南部の銚子，東郷，大久地域の泥質片麻岩は，ざくろ石＋黒雲母＋斜長石＋石英＋珪線石＋スピネル＋菫青石（仮像）＋石墨＋モナザイト＋ジルコン＋ゼノタイムの鉱物組合せをもち，優白質部には珪線石を置換する紅柱石がみられる．ざくろ石は他形で組成は完全に均質化している． ざくろ石中の微小なモナザイト包有物はすべて約 1.85 Ga の年代を示す．ざくろ石の縁部に一部包有されるモナザイト粒子は，Y に乏しい 1.8 Ga の領域が基質に面して Y に富む 250 Ma の領域（ゼノタイムと共存）に置き換えられている．基質のモナザイトは約 250Ma の年代を示す. ゼノタイムは他形のざくろ石周囲の湾入部付近にのみ存在し, 年代は一様に約 250Ma を示す.

北部の飯美地域の泥質片麻岩は，ざくろ石＋黒雲母＋斜長石＋石英＋珪線石＋石墨＋モナザイト＋ジルコンの鉱物組合せからなり，優白質部に紅柱石を含む．ざくろ石は自形でバイモーダルな粒径を示し，粗粒結晶は Ca が成長累帯構造を残す一方, 細粒結晶の組成は均質化し，南部地域のざくろ石組成範囲内に収まる．ざくろ石に包有されるモナザイトも基質のモナザイトも約 250Ma の年代を示す.

以上より，南部地域では古原生代（1.85Ga）の変成作用によりざくろ石が形成し，250Ma の高温変成作用時に，ざくろ石の組成の均質化，ざくろ石分解とゼノタイム成長が起こったと考えられる．北部の飯美地域は Tsutsumi et al. (2006) のデータから原岩年代は古原生代の可能性が高いが, ざくろ石は 250Ma の変成時に結晶化したと考えられ，古原生代変成作用の痕跡は認識できない.

Keywords: CHIME, monazite, xenotime

*Corresponding author: s-endo@riko.shimane-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Various Committees

Fri. Sep 20, 2019 12:00 PM - 12:30 PM JST | Fri. Sep 20, 2019 3:00 AM - 3:30 AM UTC | A-117 East zone 1

GKK編集委員会

12:00 PM - 12:30 PM JST | 3:00 AM - 3:30 AM UTC

GKK編集委員会

Various Committees

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

JMPS編集委員会

1:00 PM - 1:30 PM JST | 4:00 AM - 4:30 AM UTC

JMPS編集委員会