Sun. Sep 22, 2019

Oral presentation | S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

9:15 AM - 12:00 PM JST | 12:15 AM - 3:00 AM UTC | A-117 East zone 1

S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

Chairperson:Nobuhiko Nakano, Kosuke Naemura, Tatsuro Adachi

9:15 AM - 9:35 AM JST | 12:15 AM - 12:35 AM UTC

[S3-01] **[INVITED]** New geochronological data of grantoid rocks related with Cu-Mo porphyry deposit, south Mongolia

*Jargalan Sereenen[1], Enkhjargal Boldbaatar[1], Tatsuro Adachi[2], Nobuhiko JAMS, regular member Nakano[2], Yasuhito Osanai[2] (1. MUST, 2. Kyushu UNiversity)

9:35 AM - 9:55 AM JST | 12:35 AM - 12:55 AM UTC

[S3-02] **[INVITED]** Gold resources of Mongolia

*Enkh-Amgalan Chuluunkhuu[1], Jargalan Sereenen[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists, 2. Mongolian University of Science and Technology)

9:55 AM - 10:15 AM JST | 12:55 AM - 1:15 AM UTC

[S3-03] **[INVITED]** The bottom of cratonic lithosphere in Northeast Asia: the Rock record of evolution

*Tatsuki Tsujimori[1,2], Nozomi Shinbori[2], Satoshi Okumura[2], Tohru Watanabe[3], Hafiz U. Rehman[4], Vladimir Malkovets[5] (1. Tohoku Univ., CNEAS, 2. Tohoku Univ., Sci., 3. Univ. Toyama, Sci. Eng., 4. Kagoshima Univ., Sci. Eng., 5. Sobolev Inst. Geol. Mineral.)

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

[S3-04] The characteristics of zircon U–Pb ages for metamorphic and plutonic rocks in the Nagato tectonic belt, Yamaguchi

*Ippei Kitano[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Ryosuke Kato[2,3], Vuong Bui[3] (1. SCS, Kyushu Univ., 2. DIA CONSULTANTS, 3. ISGS, Kyushu Univ.)

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

[S3-05] Permo-Triassic magmatic and metamorphic activities in Kannak complex, Kon Tum Massif, central Vietnam

*Masaaki Owada[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Ippei Kitano[2], Tatsuro Adachi[2] (1. Yamagucni Univ. Sci., 2. Kyushu Univ.)

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

[S3-06] Paleozoic subduction–accretion–collision orogenesis in the Mongolian Altai Mountains: Constraints from *P–T–t* and provenance of metapelites

*Nobuhiko Nakano[1], Yasuhito Osanai[1], Sereenen Jargalan[2], Tatsuro Adachi[1], Kundyz Syeryekkhaan[1], Masaaki Owada[3], M. Satish-Kumar[4] (1. Kyshu Univ., 2. Mongolian Univ. Sci. Tec., 3. Yamaguchi Univ., 4. Niigata Univ.)

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

[S3-07] Anticlockwise pressure-temperature path for the Zavkhan eclogite in the NW Mongolia

*Kosuke Naemura[1], Javkhlan Otgonkhuu[2] (1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Chinese Academy of Geological Sciences)

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

[S3-08] Lithium Deposits of Mongolia

*Khashbat Dashtseren[1], Jargalan Sereenen[1] (1. Mongolian University of Science and Technology., MUST)

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

[S3-09] Metallogeny of Rare Earth Elements of Mongolia

Jargalan Sereenen[1], *Tamir Battogtokh[1] (1. Mongolian University of Science and Technology)

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

[S3-10] Coal deposits of Mongolia

*Ochirbat Magsarjav[1], Jargalan Sereenen[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists, 2. Mongolian University of Science and Technology)

Oral presentation | R1: Characterization and description of minerals

9:45 AM - 12:00 PM JST | 12:45 AM - 3:00 AM UTC | Lecture Ia Lecture

R1: Characterization and description of minerals

Chairperson:Masanori Kurosawa, Koichi Momma, Toshiro Nagase

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

[R1-01] Calculation of EFG due to ligand oxygens nearest neighbors to Fe^{3+}in the *M*1 site of aegirine

*Keiji Shinoda[1], Yasuhiro Kobayashi[2] (1. Osaka City Univ. Sci., 2. Kyoto Univ. KURNS)

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

[R1-02] An estimate of electric field gradient tenosr of Fe^{2+} in *M*2 site of augite by Mössbauer microspectroscopy

*Daiki Fukuyama[1], Keiji Shinoda[1], Yasuhiro Kobayashi[2] (1. Osaka City Univ., 2. KURNS)

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

[R1-03] Pattern indexing of electron diffraction based on dynamical effect

*Yusuke Seto[1], Masahiro Ohtsuka[2], Yohei Igami[3], Akira Miyake[4] (1. Kobe Uni. Sci., 2. Nagoya Uni. Eng., 3. Nagoya Uni. IMaSS., 4. Kyoto Uni. Sci.)

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

[R1-04] Precession electron diffraction method analysis of mineral

*Akira MIYAKE[1], Yusuke SETO[2], Yohei IGAMI[3], Masahiro OHTSUKA[4] (1. Kyoto Univ. Sci., 2. Kobe Univ., 3. Nagoya Univ., 4. Nagoya Univesity)

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

[R1-05] Background holes in wavelength-dispersive X-ray spectrometry using thallium acid phthalate analyzing crystal

*Takenori Kato[1], Mi-Jung Jeen[2] (1. Nagoya Univ. ISEE, 2. Core Res. Facility, PNU)

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

[R1-06] “Paraiba” tourmaline (1); The gemological definition and its geographic origin

*Hiroshi Kitawaki[1], Kentaro Emori[1] (1. Central Gem Laboratory)

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

[R1-07] ”Paraiba” tourmaline (2); Chemical analysis using LA-ICP-MS and its application for origin determination

*Kentaro Emori[1], Hiroshi Kitawaki[1] (1. Central Gem Laboratory)

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

[R1-08] Two types of fine structure in the infrared OH-stretching bands of gedrite-group amphiboles

*Kiyotaka Ishida[1], Frank C. Hawthorne (1. Non)

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

[R1-09] Chemical compositions of katoite from Tadano, Fukushima Prefecture, Japan

*Yasuyuki Banno[1], Michiaki Bunno[2] (1. AIST, 2. Univ. of Tokyo)

Oral presentation | R3: High-pressure science and deep Earth's material

9:45 AM - 12:00 PM JST | 12:45 AM - 3:00 AM UTC | Lecture Ib Lecture

R3: High-pressure science and deep Earth's material

Chairperson:Takaaki Kawazoe, Hiroaki Ohfuji

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

[R3-01] Effect of the pressure scale problem on the core density deficit

*Takeshi Sakai[1] (1. GRC, Ehime Univ.)

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

[R3-02] Structures of amorphous hydrous sodium silicates under pressure

「発表賞エントリー」

*Tomonori Ohashi[1], Tatsuya Sakamaki[1], Ken-ichi Funakoshi[2], Takanori Hattori[3], Asami Sano-Furukawa[3], Miki Muranushi[1], Chikara Shito[4], Osamu Ikeda[1], Yoshiaki Ito[1], Yuki Shibazaki[5], Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Univ., Sci., 2. CROSS, 3. JAEA, 4. Univ. Tokyo, Sci., 5. NIMS)

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

[R3-03] Compositional convection and solidification modes of the Fe-S core

*Satoru Urakawa[1], Hidenori Terasaki[2] (1. Okayama Univ., 2. Osaka Univ.)

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

[R3-04] **Argon cycle in Earth’s interior**

*Shigeaki Ono[1] (1. JAMSTEC)

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

[R3-05] High-temperature heat capacity measurement of Mg_2SiO_4 wadsleyite

*Hiroshi Kojitani[1], Yuki Tsunekawa[1], Masaki Akaogi[1] (1. Gakushuin Univ. Sci.)

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

[R3-06] **The stability of Fe_5O_6 and Fe_4O_5 at high pressure and temperature**

Koutaro Hikosaka[2], *Ryosuke Sinmyo[1,2], Kei Hirose[2,3], Takayuki Ishii[4], Yasuo Ohishi[5] (1. Meiji Uni., 2. U. Tokyo, 3. Tokyo Tech., 4. BGI, 5. JASRI)

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

[R3-07] High-pressure phase relations in chromite spinel-bearing systems

Kazuaki Yoshida[1], Hiroshi Kojitani[1], *Masaki Akaogi[1] (1. Gakushuin Univ.)

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

[R3-08] Single crystal synthesis of δ-(Al,Fe)OOH

*Takaaki Kawazoe[1,2], Itaru Ohira[3,4], Takayuki Ishii[2], Akio Suzuki[3], Eiji Ohtani[3] (1. Hiroshima Univ., Sci., 2. Univ. Bayreuth, BGI, 3. Tohoku Univ., Sci., 4. Carnegie Institution of Washington)

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

[R3-09] Dislocation creep of dry orthopyroxene aggregates under high P-T conditions

*Yumiko Tsubokawa[1], Tomohiro Ohuchi[1], Yuji Higo[2], Yoshinori Tange[2], Tetsuo Irifune[1] (1. Ehime Uni. GRC, 2. JASRI)

Oral presentation | R1: Characterization and description of minerals

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

R1: Characterization and description of minerals

Chairperson:Ysuyuki Banno

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

[R1-10] Sauconite and fraipontite from Kiura mine, Oita Prefecture, Japan

*Hiroki Ide[1], Siichiro Uehara[1], Yohei Shirose[2] (1. Kyushu Univ., Fac. Sci., Dept. Earth & Planet Sci., 2. Kyoto Univ., Mus.)

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

[R1-11] A re-examination on kobeite-(Y) for the redefinition

*Ritsuro Miyawaki[1], Toshiaki Shimura[2], Koichi Momma[1], Satoshi Matsubara[1], Akira Kato[1] (1. National Museum of Nature and Science, 2. Yamaguchi Univ.)

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

[R1-12] Texture analyses of pyrrhotite pseudomorphs from Hakurei site, Okinawa

*Toshiro Nagase[1], Tatsuo Nozaki[2], Yutaro Takaya[3], Jun-ichiro Ishibashi[4], Hidenori Kumagai[2], Leina Maeda[2] (1. Tohoku Uni. Museum, 2. JAMSTEC, 3. Waseda Univ., 4. Kyusyu Univ.)

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

[R1-13] Nevadaite from Ishidera, Wazuka, Kyoto Prefecture, Japan

*Yohei Shirose[1], Satomi Enju[3], Kenji Tsuruta[4], Norimasa Shimobayashi[2] (1. Kyoto Uni. Mus., 2. Kyoto Uni. Sci., 3. Ritsumeikan Uni., 4. Kyoto City Univ. Arts.)

Oral presentation | R3: High-pressure science and deep Earth's material

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

R3: High-pressure science and deep Earth's material

Chairperson:Ryosuke Shinmyo

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

[R3-10] Olivine-spinel transformation under shear deformation: Conditions for transformation-induced weakening

*Kubo Tomoaki[1], Kazuya Moriyama[1], Yuichiro Mori[1], Masahiro Imamura[1], Sanae Koizumi[2], Yu Nishihara[3], Akio Suzki[4], Yuji Higo[5], Yoshinori Tange[5] (1. Kyushu Univ., Sci, 2. Tokyo Univ., ERI, 3. Ehime Univ., GRC, 4. Tohoku Univ., Sci, 5. JASRI)

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

[R3-11] UHP pseudotachylyte and nanodiamond

*Tadao NISHIYAMA[1], Kouhei Unoki[1], Ukyo Nishi[1], Tomoya Fujimoto[1], Akira Yoshiasa[1], Hiroaki Ohfuji[2], Masami Terauchi[3] (1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 2. Geodynamics Reserach Center, Ehime University, 3. Institue of Multidisciplinary Reserach for Advanced Materials)

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

[R3-12] Mineralogical characteristics of nano-polycrystalline diamond in pseudotachylyte from Nishisonogi metamorphic rock

*Hiroaki Ohfuji[1], Tadao Nishiyama[2] (1. GRC, Ehime Univ., 2. Kumamoto Univ., Sci)

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

[R3-13] Characteristics and problems of quantitative chemical analysis in ATEM part 2

*Kiyoshi Fujino[1], Hiroaki Ohfuji[1] (1. GRC, Ehime Univ.)

Poster presentation | S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

9:30 AM - 3:00 PM JST | 12:30 AM - 6:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

[S3P-01] Zircon U-Pb age around the Maana belt, Western Shikoku, SW Japan

*Kenta Kawaguchi[1], Yasutaka Hayasaka[1], Tomoyuki Shibata[1] (1. Hiroshima Uni. Sci.)

[S3P-02] The petrography and zircon U–Pb ages for the Renge metamorphic rocks in Omi area, central Japan

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

[S3P-03] Cristobalite inclusion in garnet in pelitic gneiss from the Hanhohiyn Mountains, northwestern Mongolia.

*Tatsuro Adachi[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Kundyz Syeryekkhaan[1], Sereenen Jargalan[2], Masaaki Owada[3], M. Satish-Kumar[4] (1. Kyushu Uni. , 2. Mongol. Uni. Sci. Tech., 3. Yamaguchi Uni., 4. Niigata Uni.)

[S3P-04] Pressure–temperature-time conditions of metamorphism of pelitic gneisses in the Gobi-Altai Mountains from southwestern Mongolia.

*Kundyz Syeryekkhaan[1], Y. Osanai[1], N. Nakano[1], T. Adachi[1], S. Jargalan[2], M. Owada[3], M. Satish-Kumar[4], Ch. Boldbaatar[5] (1. Kyushu Univ., 2. Mongolian Univ. Sci. Tech., 3. Yamaguchi Univ., 4. Niigata Univ., 5. Ochir Undraa LLC)

Poster presentation | R1: Characterization and description of minerals

9:30 AM - 3:00 PM JST | 12:30 AM - 6:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R1: Characterization and description of minerals

[R1P-01] X-shaped Esterel twin of quartz crystals from Obira mine,Oita Prefecture,Japan.

*TOSHIRO OKADA[1] (1. Wajirogaoka J.H.S)

[R1P-02] Magnetic properties and microstructures of magnetite from Yanahara mine, Okayama, Japan

*Makio Ohkawa[1], Geraldo Magela da Costa[2] (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. UFOP)

[R1P-03] Identification of rock type from thin sections using CNN deep learning
「発表賞エントリー」

*Mana Matsuda[1], Yusuke Seto[1] (1. Kobe Univ. Sci.)

[R1P-04] Integration of the Maximum Entropy Patterson method into the MEM analysis software Dysnomia

*Koichi Momma[1] (1. NMNS)

[R1P-05] Chemical characters of solid and melt inclusions in diopside megacrysts from Kamisano, Yamanshi prefecture.

*Masanori Kurosawa[1] (1. Life and Environ. Sci., Univ. Tsukuba)

[R1P-06] PGMs and Native Element Minerals from the Ultramafic Rock Body of the Kurosegawa Belt in Kumamoto prefecture, Japan

*Takahiro Tanaka[1], Daisuke Nishio-Hamane[2], Tadashi Shinmachi (1. Non, 2. ISSP, Univ. of Tokyo)

[R1P-07] Minakawaite, a new mineral

Daisuke Nishio-Hamane[2], *Takahiro Tanaka[1], Tadashi Shinmachi (1. Non, 2. ISSP, Univ. of Tokyo)

[R1P-08] Minerals from gold and PGM placer deposits from the Rumoi area in Hokkaido, Japan

*Daisuke Nishio-Hamane[1], Katsuyuki Saito (1. ISSP, Tokyo Univ.)

[R1P-09] Morimotoite from Chisaka, Hidaka, Hokkaido, Japan

*Daisuke Nishio-Hamane[1], Akihito Hagiwara (1. ISSP, Tokyo Univ.)

[R1P-10] Occurrence of holtstamite hydrogarnet from the Sekkaizawa and its high-pressure behavior

*Daisuke Nishio-Hamane[1], Koichi Momma[2], Akira Harada (1. ISSP, Tokyo Univ., 2. Nat'l. Mus. Nat. Sci.)

[R1P-11] The characteristic growth habits of phillipsite formed in Chichijima, Ogasawara Islands
「発表賞エントリー」

*Yuki Inoue[1], Mana Yasui[2], Hiroshi Hagiya[1], Atsushi Yamazaki [2] (1. Tokyo City Univ., 2. Waseda Univ.)

[R1P-12] Amesite from Yakiyama, Izuka, Fukuoka Prefecture, Japan

*Yuki Isshiki[1], Seiichiro Uehara[1] (1. Dept. Earth and Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.)

[R1P-13] Columbite group minerals from Mt. Nagatare, Fukuoka Prefecture

*Shin Ito[1], Seiichiro Uehara[2], Yohei Shirose[3] (1. Itoshima HS, 2. Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ., 3. Univ. Kyoto Univ.)

[R1P-14] Occurrence of Co ores from the Eboshi deposit, the Naganobori copper mine, Yamaguchi, Japan

*Mariko Nagashima[1], Yuji Imoto[2], Yukina Morishita[2] (1. Yamaguchi Univ. Earth Sci., 2. Yamaguchi Univ. Sci.)

[R1P-15] Clay mineralogy of the ore deposit and wall rocks from Akeshi mine, Kagoshima Prefecture, Japan

*Takuya Yoshimura, Seiichiro Uehara[1] (1. Kyushu Univ., Sci.)

[R1P-16] Quintinite from Hinogami Mine, Nichinan Town, Tottori Prefecture, Japan

*Takashi Ishibashi[1], Yoshihiro Yamamoto[1], Hidehiko Mitsuda[1], Norimasa Shimobayashi[2], Akane Watanabe[1], Takashi Fujiwara[1] (1. Masutomi Museum of Geoscience, 2. Graduate School of Science, Kyoto University)

[R1P-17] Mineral collection of Museum of Osaka University

*Takashi Ishibashi[1,2], Ken Ito[1], Setsuya Hashizume[1], Yasushi Nagata[1], Misao Sawada[2] (1. Museum of Osaka University, 2. Masutomi Museum of Geoscience)

[R1P-18] “Hiki Mineral Collection”, mineral collection of Kyoto University

*Yohei Shirose[1], Norimasa Shimobayashi[2], Masaki Takaya[2], Takashi Ishibashi[3], Michiaki Bunno[4] (1. Kyoto Uni. Mus., 2. Kyoto Uni. Sci, 3. Masutomi Mus. Geosci., 4. Tokyo Uni. Mus.)

[R1P-19] Mineral collection of Kyushu University

*Seiichiro Uehara[1], Yohei Shirose[2], Yasuhiro Ito[3] (1. Dept. Earth and Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ., 2. Museum, Kyoto Univ., 3. Museum, Kyushu Univ.)

Poster presentation | R3: High-pressure science and deep Earth's material

9:30 AM - 3:00 PM JST | 12:30 AM - 6:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R3: High-pressure science and deep Earth's material

[R3P-01] Determination of the noble gas partition coefficients between metal and silicate melts under high-pressure and high-temperature conditions

*Tomotaka Tanaka[1], Satoshi Kishi[1], Hirochika Sumino[1], Hideharu Kuwahara[2], Ryuichi Nomura[3], HIroyuki Kagi[4], Kenji Mibe[5] (1. Univ of Tokyo. arts and sci., 2. Geodynamics Research Center, Ehime Univ., 3. Human and Environmental Studies., Kyoto Univ., 4. Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo., 5. Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo)

[R3P-02] Reaction rates of hydrous mineral and iron under high pressure

「発表賞エントリー」

*Tatsuro Hatakeyama[1], Masayuki Nishi[1], Tetsuo Irifune[1] (1. Ehime Uni. GRC.)

[R3P-03] First-principles prediction of hydrogen partitioning between the core and mantle

「発表賞エントリー」

*Atsuroh Ohba[1] (1. Ehime Uni. GRC)

[R3P-04] Al-Si substitution in Phase Egg and Al-rich new high-pressure hydrous phases

「発表賞エントリー」

*Goru Takaichi[1], Masayuki Nishi[1], Youmo Zhou[1], Shinichi Machida[2], Tetsuo Irifune [1] (1. Ehime Uni GRC, 2. CROSS)

[R3P-05] high pressure hydrous phase e-AlOOH

*Masayuki Nishi[1], Yasuhiro Kuwayama[2], Jun Tsuchiya[1] (1. Ehime Univ., GRC, 2. Tokyo Univ., Sci.)

[R3P-06] Phase transition of ScOOH under high pressure

Yoshiaki Ito[1], Osamu Ikeda[1], Taito Kubota[1], Tatsuya Sakamaki[1], Takahiro Kuribayashi[1], *Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Uni.)

[R3P-07] P-V-T equation of state of δ-AlOOH to 6.5 GPa and 500K

Taito Kubota[1], Yoshiaki Ito[1], Ryuji Watanabe[1], Seiji Kamada[2], Takahiro Kuribayashi[1], *Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Univ., Sci., 2. Tohoku Univ., FRIS)

[R3P-08] Effect of CO_2 on the viscosity of soda melilite melt under high pressures and high temperatures

*Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Uni.)

[R3P-09] GHz ultrasonic measurement in DAC: Summary and future perspective

*Akira Yoneda[1] (1. IPM, Okayama Univ.)

[R3P-10] Sound velocity and Mossbauer spectroscopy measurements of FeH_2

*Daijo Ikuta[1], Eiji Ohtani[1], Naohisa Hirao[2], Takaya Mitsui[3], Satoshi Nakano[4], Hiroshi Uchiyama[2], Satoshi Tsutsui[2], Alfred Q. R. Baron[5] (1. Dept. Earth Sci., Tohoku Univ., 2. JASRI, 3. QST, 4. NIMS, 5. RIKEN)

[R3P-11] Rheology of the subducted slab in the lower mantle

*Shintaro Azuma[1,2], Ryuichi Nomura[3,4], Kentaro Uesugi[5], Yu Nishihara[4], Shunta Doi[4], Takeshi Arimoto[4], Tetsuo Irifune[4] (1. Tokyo Tech, 2. Kyushu Univ, 3. Kyoto Univ, 4. Ehime Univ, 5. JASRI/SPring-8)

[R3P-12] Olivine-Spinel transition under uniaxial deformation - the condition of shear instability

*Mori Yuichiro[1] (1. Kyushu Univ., Sci)

[R3P-13] Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*Yu Itami[1], Satoru Urakawa[1] (1. Okayama Uni. Sci.)

[R3P-14] Synthesis of nano-polycrystalline diamond (NPD) from stearic acid and characterization of its microtexture

*Hideaki Kawamura[1], Hiroaki Ohfuji[2] (1. Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 2. Geodynamics Research Center, Ehime University)

[R3P-15] Incorporation of Ga^{3+} into $CaTiO_3$ perovskite

*Nagai Takaya[1], Masaki Ohguro[1], Naoki Takakura[1], Toru Inoue[2], Toru Shinmei[3] (1. Hokkaido Uni. Sci., 2. Hiroshima Uni. Sci., 3. Ehime Uni. GRC)

Various Committees

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

新鉱物・命名・分類委員会

Various Committees

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

研究発表優秀賞選考委員会

Closing Ceremony

3:30 PM - 4:15 PM JST | 6:30 AM - 7:15 AM UTC | Lecture Ia Lecture

クロージングセレモニー

Oral presentation | S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

Sun. Sep 22, 2019 9:15 AM - 12:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 12:15 AM - 3:00 AM UTC | A-117 East zone 1

S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

Chairperson:Nobuhiko Nakano, Kosuke Naemura, Tatsuro Adachi

[座長]
中野 伸彦：S3-01〜S3-03
苗村 康輔：S3-04〜S3-06
足立 達朗：S3-07〜S3-10

9:15 AM - 9:35 AM JST | 12:15 AM - 12:35 AM UTC

[S3-01] **[INVITED]** New geochronological data of grantoid rocks related with Cu-Mo porphyry deposit, south Mongolia

*Jargalan Sereenen[1], Enkhjargal Boldbaatar[1], Tatsuro Adachi[2], Nobuhiko JAMS, regular member Nakano[2], Yasuhito Osanai[2] (1. MUST, 2. Kyushu UNiversity)

9:35 AM - 9:55 AM JST | 12:35 AM - 12:55 AM UTC

[S3-02] **[INVITED]** Gold resources of Mongolia

*Enkh-Amgalan Chuluunkhuu[1], Jargalan Sereenen[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists, 2. Mongolian University of Science and Technology)

9:55 AM - 10:15 AM JST | 12:55 AM - 1:15 AM UTC

[S3-03] **[INVITED]** The bottom of cratonic lithosphere in Northeast Asia: the Rock record of evolution

*Tatsuki Tsujimori[1,2], Nozomi Shinbori[2], Satoshi Okumura[2], Tohru Watanabe[3], Hafiz U. Rehman[4], Vladimir Malkovets[5] (1. Tohoku Univ., CNEAS, 2. Tohoku Univ., Sci., 3. Univ. Toyama, Sci. Eng., 4. Kagoshima Univ., Sci. Eng., 5. Sobolev Inst. Geol. Mineral.)

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

[S3-04] The characteristics of zircon U–Pb ages for metamorphic and plutonic rocks in the Nagato tectonic belt, Yamaguchi

*Ippei Kitano[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Ryosuke Kato[2,3], Vuong Bui[3] (1. SCS, Kyushu Univ., 2. DIA CONSULTANTS, 3. ISGS, Kyushu Univ.)

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

[S3-05] Permo-Triassic magmatic and metamorphic activities in Kannak complex, Kon Tum Massif, central Vietnam

*Masaaki Owada[1], Yasuhito Osanai[2], Nobuhiko Nakano[2], Ippei Kitano[2], Tatsuro Adachi[2] (1. Yamagucni Univ. Sci., 2. Kyushu Univ.)

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

[S3-06] Paleozoic subduction–accretion–collision orogenesis in the Mongolian Altai Mountains: Constraints from *P–T–t* and provenance of metapelites

*Nobuhiko Nakano[1], Yasuhito Osanai[1], Sereenen Jargalan[2], Tatsuro Adachi[1], Kundyz Syeryekkhaan[1], Masaaki Owada[3], M. Satish-Kumar[4] (1. Kyshu Univ., 2. Mongolian Univ. Sci. Tec., 3. Yamaguchi Univ., 4. Niigata Univ.)

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

[S3-07] Anticlockwise pressure-temperature path for the Zavkhan eclogite in the NW Mongolia

*Kosuke Naemura[1], Javkhlan Otgonkhuu[2] (1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2. Chinese Academy of Geological Sciences)

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

[S3-08] Lithium Deposits of Mongolia

*Khashbat Dashtseren[1], Jargalan Sereenen[1] (1. Mongolian University of Science and Technology., MUST)

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

[S3-09] Metallogeny of Rare Earth Elements of Mongolia

Jargalan Sereenen[1], *Tamir Battogtokh[1] (1. Mongolian University of Science and Technology)

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

[S3-10] Coal deposits of Mongolia

*Ochirbat Magsarjav[1], Jargalan Sereenen[2] (1. Mongolian Society of Economic Geologists, 2. Mongolian University of Science and Technology)

[INVITED]

New geochronological data of grantoid rocks related with Cu-Mo porphyry deposit, south Mongolia

Jargalan S*, Enkhjargal B (MUST), Adachi T, Nakano N, Osanai Y (Kyushu University)

Copper deposit is main source of world copper production and they genetically links with magmatic arc environment formed under subduction tectonic setting. During long history of evolution of Euro-Asian super continent, in the territory of south Mongolia developed Paleo Asian ocean in Paleozoic period and due to the subsequent subduction a lot of copper, copper-molybdenum and copper-gold porphyry deposits were formed. Therefore, Mongolia is one of the most promising country with porphyry type copper deposits. Regarding to the regional tectonic setting, traditionally, the territory of Mongolia is subdivided into a northern and southern domains. The southern domain is dominated by Lower to Middle Paleozoic arc related volcanic and volcano-clastic rocks with fragments of ophiolites and serpentinite mélanges and contains five island arc terranes, which are from west to east Baitag, Edrene, Gurvansaikhan, Mandal-Ovoo and Yonshoo.

We studied geochemistry and geochronology of granitoid rocks, which show close relation with porphyry type mineralization distributed along the above mentioned arc terranes. Our study includes thirty granitoid rocks from five porphyry deposits (Nariin khudag, Kharmagtai, Khul morit, Shaliin khudag and Khatsavch) and eighteen porphyry occurrences (Bronze fox, Ikh Shankh, Davaa ull, Javkhlant etc). The result of geochemical analyses indicates that rocks have subalkalic affinity with medium to high potassium calc-alkaline feature. On tectonic discrimination diagram all plots within subduction tectonic setting. The U-Pb measurements on zircon were conducted using LA-ICP-MS at Kyushu university. Result of U-Pb measurement shows that age of rocks vary from 302.1±3.1 Ma (Ulaan tolgoi occurrence) to 370.7±4.1 Ma (Bunkhan khudag occurrence), which can be roughly divided into three main age span as Late Devonian, Early and Late Carboniferous. Age of granitoid rocks in Edrene and Baitag terrane are similar and show narrow time span ranging from 317.5±3.7Ma (Olonbulag deposit) to 327±3Ma (Shalyn khudag deposit). In other side age of porphyry related granitoids in Mandal-Ovoo and Gurvaisaikhan terrane show wide range. Result of our study on geochemistry and geochronology of granitoid rocks, related with porphyry deposits, similar with some records on age and geochemistry in south Mongolia and it is vital importance for further study of Central Asian Orogenic Belt as well as reconstruction of paleo geo environment and related porphyry mineralization.

Keywords: porphyry, subduction, island arc, geochemistry, geochronology

*Corresponding author: *sjrgln@gmail.com*

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

[INVITED]

Gold resources of Mongolia

Enkh-Amgalan Ch* (Mongolian Society of Economic Geologists), Jargalan S (Mongolian University of Science and Technology)

Mongolia has considerable reserves and resources. Gold mining activity started since late XIX century, but it has significant role in country's economy only for the last 25 years. Main study of gold mineralization and mineral exploration started from 1960's and nowadays the statistic of various stage geological research indicate that there are more than 1400 localities of gold deposits and occurrences and half of them are placer gold. Dejidmaa et all (2002) compiled mineral map of Mongolia and they subdivided gold mineralization into 8 main mineralization types: 1/ volcanic associated massive sulphide; 2/epithermal; 3/scarn; 4/vein; 5/ regional metamorphism related; 6/granitoid related; 7/placer and 8/paleoplacer. Distribution of gold deposits and occurrences depends on mineralization type, but genetically shows linear form along the independent geotectonic unit, or bigger fault zone. Gold mineralization took place, with varying intensity in various metallogenic epochs. Two main types of gold mineralization are familiar in country which are placer gold and hard rock gold.

The placer gold deposits explored at a sufficient level and they are in active exploitation. Main placer gold deposits are located along flood plain in the Zaamar, Bayankhongor, Tolgoit, Ulz and Khangai area. Gold placers mined in large open-pit operations contain 1 to 5 grams of gold per cubic metric alluvial material and is mined from 5 to 80 m of depth. The hard rock gold deposits are prospected at low level and have reasonable potential to explore. Only Boroo gold hard rock deposit is produced over 70 tons of gold and others are under development stage. Besides of placer and hard rock gold deposits gold is mined from porphyry type copper mine. The main example is Oyu Tolgoi copper-gold porphyry deposit in south Mongolia, which has great resource and one of the world's largest copper mine.

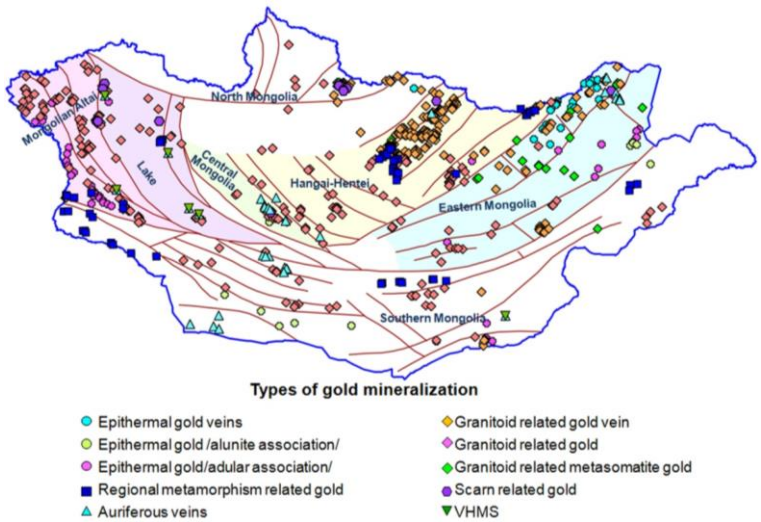


Figure 1. Distribution of gold mineralization of Mongolia with bigger faults and main metallogenic belts:

Keywords: Placer gold, hard rock gold, Mongolia,

*Corresponding author: Ch. Enkh-Amgalan *chenkhamgalan@yahoo.com*

S3-03

[招待講演] 安定陸塊の底が記録する東北アジアの進化史

辻森 樹*[1,2], 新堀 希望[2†], 奥村 聡[2], 渡邉 了[3],
レーマン H.U.[4], マリコベッツ V.G.[5]
([1]東北大・東北アジア,[2]東北大・理・地学,[3]富山大・理工・地球,
[4]鹿児島大・理工・地球環境,[5]ソボレフ地質学鉱物学研究所, [†]現所属 株式会社 SHIFT)

The bottom of cratonic lithosphere in Northeast Asia: the Rock record of evolution

Tatsuki TSUJIMORI*[1,2], Nozomi SHINBORI[2], Satoshi OKUMURA[2], Tohru WATANABE[3],
Hafiz U. REHMAN[4], Vladimir MALKOVETS[5]
([1] CNEAS, Tohoku Univ., [2] Dept. Earth Sci., Tohoku Univ. [3] Dept. Earth Sci, Univ. Toyama, [4] Dept. Earth Env. Sci, Kagoshima Univ., [5] Sobolev Inst. Geol. Mineral., SB RAS)

東北アジアは複数の大陸地塊の集合で形成され、ユーラシア大陸のかなりの面積を占める。過去四半世紀の間に表層の地質と岩石の研究が飛躍的に進み、東北アジアの広域的な地質とテクトニクスの全貌が加速度的に明らかになりつつある。表層地質の情報、大陸プレート内玄武岩の地球化学的情報、地震波トモグラフィーが推定するマントル構造などが互いに紐付けられて解釈される時代となり，ユーラシア大陸の一部としての東北アジアの理解が、過去の超大陸形成の過程で起きうる諸プロセスの解明の手助けとなる。

東北アジアの地質を巨視的に見ると、太古代の大陸地塊の縁辺部、又は地塊内部には原生代の造山帯が存在し、それらを取り囲むように顕生代の造山帯が発達する。顕生代の造山作用は大陸地塊の縁辺部で陸塊の成長を促進してきた一方、縁辺部は大陸リソスフェア薄化や構造浸食など大陸地塊の破壊の場として機能してきた。大陸地塊縁辺部におけるプレート沈み込みは、縁辺部だけでなく、太古代の大陸地塊の底、すなわち大陸リソスフェアマントル最下部物質に流体を媒介として痕跡を残してきた。本講演ではシベリア地塊のキンバレー岩産のざくろ石かんらん岩捕獲岩が記録する安定陸塊の底の情報について紹介する。

シベリア地塊のリソスフェア最下部を構成するざくろ石かんらん岩は、マイロナイト化が著しく、Cr に富むざくろ石（9 wt% Cr_2O_3)とアルミに乏しい直方輝石を特徴的に含み、ポーフィロクラストは圧力 6 GPa・温度 1220°C の平衡条件を示す。ざくろ石は Y・Zr に乏しく、枯渇マントルに特徴的な組成を示す。細粒かんらん石の結晶方位定向配列は C タイプで特徴付けられ、変形かんらん岩の封圧下での弾性波速度（ V_P = 7.27–8.04 km/s）と矛盾しない。C タイプの要因となった流体の関与は、ざくろ石のリムで Sr や LREE の付加が認められる事とも調和的で，変形には流体の関与が強く示唆される。ところが、赤外分光による細粒かんらん石の H_2O の含水量は 11 μg/g と‘ドライ’で、単斜輝石（114 μg/g）と直方輝石（16 μg/g）も同様であった。このように、安定陸塊の底は大陸の集合過程で、‘ウェット’(高含水量) から広域的に‘ドライ’に変化することがあり得る。

Keywords: NE Asia, continental lithospheric mantle, garnet peridotite xenolith, Siberia Craton

***Corresponding author: tatsukix@tohoku.ac.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3-04

山口県長門構造帯に産する変成岩・深成岩類のジルコン U–Pb 年代の特徴

北野 一平[1]*, 小山内 康人[1], 中野 伸彦[1], 足立 達朗[1], 加藤涼介[1,2], Bui Thi Sinh Vuong[1]（[1]九州大, [2]（株）ダイヤコンサルタント）

The characteristics of zircon U–Pb ages for metamorphic and plutonic rocks in the Nagato tectonic belt, Yamaguchi

Ippei Kitano[1]*, Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Tatsuro Adachi[1], Ryosuke Kato[2], Vuong Bui Thi Sinh[1] ([1]Kyushu Univ., [2]DIA CONSULTANTS)

長門構造帯は西南日本山口県西部に位置し、北北東－南南西方向に狭長な分布を示す地質体であり、変成岩・深成岩類を伴う蛇紋岩メランジェ、三郡－蓮華帯相当の結晶片岩類、およびペルム紀の付加体から構成される（例えば椛島ほか、1993）。南東部でトリアス系美祢層群とは高角断層を介し、北西部でジュラ系豊浦層群に被覆されている（例えば椛島ほか、1993）。蛇紋岩中の花崗岩類は約 400 Ma の白雲母 K–Ar 年代を示すことから（例えば福富、2008）、長門構造帯は日本最古に相当する地質体とみなされており、その地質学的な特徴とペルム紀付加体中の微化石解析から、しばしば飛騨外縁帯に対比されている（例えば磯崎・田村、1989）。しかしながら、蛇紋岩メランジェ中の変成岩および深成岩類ブロックに関して、帰属を検証した例は少ない。そこで、本研究は長門構造帯の変成岩類および深成岩類から、LA-ICP-MS ジルコン年代測定を行い、これらの年代学的特徴を明らかにした。

長門構造帯の北部三隈地域、中央部台地域および南部豊ヶ岳地域の調査を行い、三隈地域の角閃岩（119T03C）、台地域の変形花崗岩（11902D: 含ザクロ石－黒雲母－白雲母花崗岩、119T06D: 含緑簾石－黒雲母－白雲母花崗岩）、豊ヶ岳地域の砂泥質片岩（12001: 緑簾石－白雲母－緑泥石片岩、120T01O: 緑泥石－白雲母片岩）および変形石灰珪質岩（120T01S, 120T01U: アクチノ閃石石灰珪質岩）からジルコンを分離し年代測定を行った。

三隈地域の角閃岩（119T03C）中のジルコンは、自形で弱いセクター構造の内部組織を呈し約 460 Ma の年代を示した。台地域の変形花崗岩（11902D, 119T06D）中のジルコンは共通して自形で波動累帯構造の内部組織を示し、約 470–460 Ma に集中した年代値が得られた。一方で、豊ヶ岳地域の砂泥質片岩（12001, 120T01O）および変形石灰珪質岩（120T01S, 120T01U）では、自形で波動累帯構造の内部組織のジルコンが卓越するものの、多様な形状および内部組織を示すジルコンが認められる。砂泥質片岩（12001, 120T01O）からは 670–650, 490–410 Ma、変形石灰珪質岩（120T01S, 120T01U）からは、2460–2430, 1900–910, 660–400 Ma の幅広い年代が得られ、共通して 470–420 Ma の卓越した年代ピークが検出された。

これらの長門構造帯の変成岩・深成岩類の年代学的特徴は、飛騨外縁帯よりもむしろ黒瀬川構造帯の蛇紋岩中に産する変成岩類および圧砕花崗岩類のそれと極めて類似している（Yoshimoto et al., 2013; 小山内ほか、2014）。さらに、年代だけでなく蛇紋岩メランジェ中に高温変成岩としての角閃岩、およびザクロ石・両雲母を含むアルミナスな圧砕花崗岩類が存在する点でも飛騨外縁帯ではなく黒瀬川構造帯に対比可能である。以上の点から、長門構造帯は黒瀬川構造帯と同一の起源をもち同一のテクトニクスで形成した可能性が強く示唆される。

Keywords: zircon ages, metamorphic rocks, plutonic rocks, Nagato tectonic belt, Yamaguchi
*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ベトナム・コンツム地塊，カンナック岩体 ペルム紀－三畳紀，火成作用と変成作用の関係

大和田正明*（山口大学），小山内康人，中野伸彦，北野一平，
足立達朗（九州大学）

Permo-Triassic magmatic and metamorphic activities in Kannak complex, Kon Tum Massif, central Vietnam

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

The Kon Tum Massif, central Vietnam, contains various types of magmatic and metamorphic rocks, the latter including ultrahigh- to high-temperature units. The Late Permian–Early Triassic metamorphic rocks in the massif correspond well with the metamorphic characteristics of a collision between the Indochina and South China cratons in terms of P–T evolutions and the timescales of deformation. However, the relationships between metamorphism and magmatic activities are still unclear. As such, we have performed zircon U–Pb geochronological investigations of granitic rocks and reevaluated previously reported monazite Th–U–Pb electron microprobe dating to unravel Permo–Triassic tectonothermal event and elucidate magmatic processes and tectonic implications of the Kon Tum Massif. The U–Pb LA-ICP-MS geochronological analyses of zircon obtained from two samples of garnet granite yielded magmatic ages of 239.6 ± 3.9 Ma and 243.5 ± 3.4 Ma, respectively. In consideration of igneous activities in the Kon Tum Massif, the base of massif, already thickened by the collision, was situated on the place of underplating plume-related magma. As a result, such magma induced the high- to ultrahigh-temperature metamorphism and crustal melting during the Late Permian to Early Triassic, 260 – 240 Ma.

中部ベトナムコンツム地塊には，高温～超高温変成作用を被った変成岩類や各種火成岩類が分布する．コンツム地塊カンナック岩体の変成岩類はピーク変成作用時に 1.2 GPa で 1050 ˚C に達していた (Osanai et al., 2004, 2008)．このテクトニック事変は，ペルム紀末から三畳紀はじめにかけて怒った南中国地塊とインドシナ地塊の衝突によるとされた (Osanai et al., 2008)．しかしながら，変成作用と火成活動との関係には，不明な点も多い．そこで，本研究では，花崗岩のジルコン U–Pb 年代を求めた．あわせて，すでに Owada et al. (2006) によって公表された変成岩と花崗岩の U–Th–Pb 化学年代を再評価し，カンナック岩体の火成･変成史を検討した．分析試料は，カンナック岩体を流れる Ba river に沿って露出する花崗岩類と泥質グラニュライトである．

今回新たに分析したざくろ石花崗岩のジルコン U–Pb 年代 (LA-ICP-MS, 九州大学・比文院)は，それぞれ 239.6 ± 3.9 Ma と 243.5 ± 3.4 Ma である．また，モナザイトの化学年代によれば，泥質グラニュライトの変成年代は 255 Ma で，後退変成作用の時期は 233 Ma である．カンナック岩体から得られた火成・変成年代を考慮すると，超高温変成作用の年代は 260～250 Ma に起こり，高温変成作用は 255～240 Ma に起こったと想定される．

Owada et al. (2016)は火成活動の原因をマントルプルームに求め，衝突によって厚化した下部地殻中に貫入するマグマによって超高温に達する変成作用や地殻の溶融を引き起こしたとした．すなわち，南中国地塊とインドシナ地塊の衝突事変は 260 Ma 頃には始まり，そして，火成活動と変成作用は同じタイミングで 240 Ma まで継続したと推察される．

Keywords: The Kon Tum Massif, granitic rocks, pelitic gneiss, monazite EMP dating, zircon U–Pb dating
*Corresponding author: owada@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

モンゴルアルタイ山脈の泥質変成岩に記録された古生代・沈み込み一付加一大陸衝突に伴う造山運動

中野伸彦・小山内康人（九州大）・S. Jargalan（モンゴル科学技術大）・
足立達朗・K. Syeryekkhaan（九州大）・大和田正明（山口大）・
M. Satish-Kumar（新潟大）

Paleozoic subduction–accretion–collision orogenesis in the Mongolian Altai Mountains: Constraints from *P–T–t* and provenance of metapelites

N. Nakano*, Y. Osanai (Kyushu Univ.), S. Jargalan (Mongolian Univ. Sci. Tec.), T. Adachi, K. Syeryekkhaan (Kyushu Univ.), M. Owada (Yamaguchi Univ.), M. Satish-Kumar (Niigata Univ.)

Amphibolite-facies pelitic gneisses are major lithology in the metamorphic belt from the Mongolian Altai Mountains in the Central Asian Orogenic Belt. Based on the widespread monazite EPMA dating, the metamorphosed pelitic gneisses are chronologically divided into three groups, which are pelitic gneisses metamorphosed at *c.* 360 Ma, *c.* 260 Ma, and both. Based on the analyses of andalusite-, sillimanite-, and kyanite-bearing metapelite, the *c.* 260 Ma metamorphism is characterized by a hairpin-shaped anti-clockwise evolution; from prograde of ~ 520°C at 2.5 kbar via peak of 600°C at 6 kbar until ~510°C at 3 kbar. On the other hand, kyanite- and sillimanite-bearing metapelites containing *c.* 360 Ma monazite grains suggest complex metamorphic history at this period. Although the all rock types experienced compressional evolution, the compression occurred at different crustal levels. One type represents compression at low-*P* conditions (~5.2 to 7.2 kbar) under moderate-*T* conditions (~620–660 °C). In contrast, another rock type was formed during compression at higher *P* with similar *T* conditions (~7.0 to 8.9 kbar at ~600–640 °C). The different metamorphic gradient has been considered to be due to the presence of ridge subduction in the Altai Range. The subducted ridge could supply heat to the accretionary wedge and produced new geotherm at *c.* 360 Ma (Nakano et al., 2015). The detrital zircon ages of *c.* 360 Ma metapelites show same provenance to the Devonian accretionary prism. Those of *c.* 260 Ma metapelites are also essentially similar to them (sharp peaks of 510–490 Ma and broad peaks of 900–800 Ma), whereas *c.* 260 Ma ones are characterized by abundant Proterozoic zircons (56 %) and older age of the youngest zircon (*c.* 460 Ma) than *c.* 360 Ma metapelites (20 % and *c.* 364 Ma, respectively). The results require the following sequence of events. (1) Subduction of an oceanic plate beneath a microcontinental block from at least 510 Ma. (2) Growth of volcanic front due to ongoing subduction and arc magmatism until *c.* 360 Ma, which became barrier for transportation of older continental material into trench. (3) Burial of the youngest accretionary wedge at *c.* 360–350 Ma with different metamorphic gradients due to ridge subduction. (4) Rollback of the trench and arc magmatism in the upper (older) part of the accretionary wedge during the late Permian. (5) Continental collision and burial of heated accretionary wedge at *c.* 270–260 Ma.

Keywords: metamorphic rocks, subduction–accretion–collision, Altai Mountains, Mongolia
*Corresponding author: n-nakano@scs.kyushu-u.ac.jp (N. Nakano)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

モンゴル北西部のザフハンエクロジャイトが経験した反時計回りの温度圧力履歴

苗村　康輔*（京都大学・理）& O. ジャフハラン（中国地質科学院）

Anticlockwise *P-T* path for the Zavkhan eclogite in the NW Mongolia

Kosuke Naemura* (Kyoto University) & Javkhlan, O. (Chinese Acad. Geol. Sci.)

Contrary to the prograde-type *P-T* path of subduction zone eclogites, the Zavkhan eclogite in the NW Mongolia, whose peak *P-T* condition was estimated at 480 ºC and 2 GPa, was transformed from the former kyanite-bearning amphibolite paragenesis (>600 ºC) by an anti-clockwise *P-T* path.

典型的なエクロジャイトの温度圧力経路は、ローソン石や藍閃石を含んだ青色片岩が脱水分解し緑簾石エクロジャイトへと相転移する累進変成経路である。一方、チリ南部やザグロス山脈における研究から、高温の角閃岩が冷却した結果エクロジャイトが形成されうることが明らかとなってきた。これらのレビューを踏まえ、本発表はモンゴル北西部のエクロジャイトの温度圧力履歴を紹介する。ザフハン・エクロジャイトでは、オンファス輝石(Jd<42 モル) がカルシウムに富んだざくろ石(Gros>30 モル), バロワ閃石, 白雲母(Si=3.4 apfu, O=11), 石英, 緑簾石, ルチルと少量の燐灰石、方解石, 赤鉄鉱と共存し、部分的に角閃岩相の共生に置換されている。エクロジャイトになるまでに岩石が経験した温度圧力履歴を調べるために、ざくろ石のゾーニングと包有物の関係を検討した。まず Mn に富むざくろ石・コア部($Spes_{2\text{-}16}Gros_{30\text{-}35}Pyr_{2\text{-}4}$)は藍晶石とパラゴナイト、方解石、石英を含むが緑簾石を欠いている。ざくろ石のマントル部($Spes_{<2}$ $Gros_{35\text{-}40}Pyr_{4\text{-}6}$)は、緑簾石や塩素に富むホルンブレンド、稀に曹長石が包有され、石英を多く含む。ラマン分光法で測定した結果、内圧パラメータ Δw_1 [1]が約 8~10 シフトしていることが判明した。ざくろ石マントル外縁部($Gros_{30\text{-}37}Pyr_{6\text{-}10}$)ではオンファス輝石とバロワ閃石が包有されて、リム部($Gros_{30}Pyr_{11\text{-}14}$)は上昇時の角閃岩相で形成されたと考えられる。これらの情報から温度圧力履歴を復元すると、まずエクロジャイト条件（ざくろ石マントル最外縁部に相当）は地質温度圧力計を用いて約 480 度・2 GPa と推定された。次に、ざくろ石マントル内縁部の形成条件は、角閃石・斜長石温度計と石英ラマン圧力計を用いて、約 550-590℃・1.4-1.8 GPa と推定された。この結果から、ざくろ石コア部は、Paragonite＋Quartz＝Albite＋Kyanite＋H_2O の反応曲線の右辺（1GPa だと 660 度以上）で形成されたと推定される。従って、藍晶石を含む角閃岩が冷却・増圧した結果、エクロジャイトが形成されたことが判明した。ザフハンエクロジャイトが記録する冷却イヴェントは、オホーツクプレートの表面温度が数千万年の時間スケールで冷却したことを示唆する。

Key words: Anti-clockwise P-T path, eclogite

[1] Enami et al., (2007), Am.Min. 92. pp. 1303-1315.

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Lithium Deposits of Mongolia

Khashbat Dashtseren[1*]., Jargalan Sereenen[1]
[1]Mongolian University of Science and Technology, Mongolia
khashbat.d@must.edu.mn

Due to the rapid growth of population and environmental issues, the traditional source is being rejected, whereas renewable resources are being accepted year by year following the increase in energy demand. As the demand for renewable energy grows, the storage is considered crucial for the technological development and environment. The most important means of storing energy is the lithium battery and the capacitor, therefore the significance is high for conducting studies on the most important raw material of lithium battery and assessing its future prospect.

Future global demand for lithium is difficult to forecast, most projections are for increasingly positive trends. Certainly, the progression of increasing consumption over the last decade points to comparable or greater demand into the future. The primary growth in demand has been driven using lithium in rechargeable batteries, not only for electronic devices but also for electric vehicles and storage of renewable and other energies.

In Mongolia, lithium mineralization is relatively low, but in recent years companies have started research in various level. Current studies have found three deposits, seven occurrences and some anomalies mineralized areas associated with pegmatite related silicate ores and sedimentary rocks.

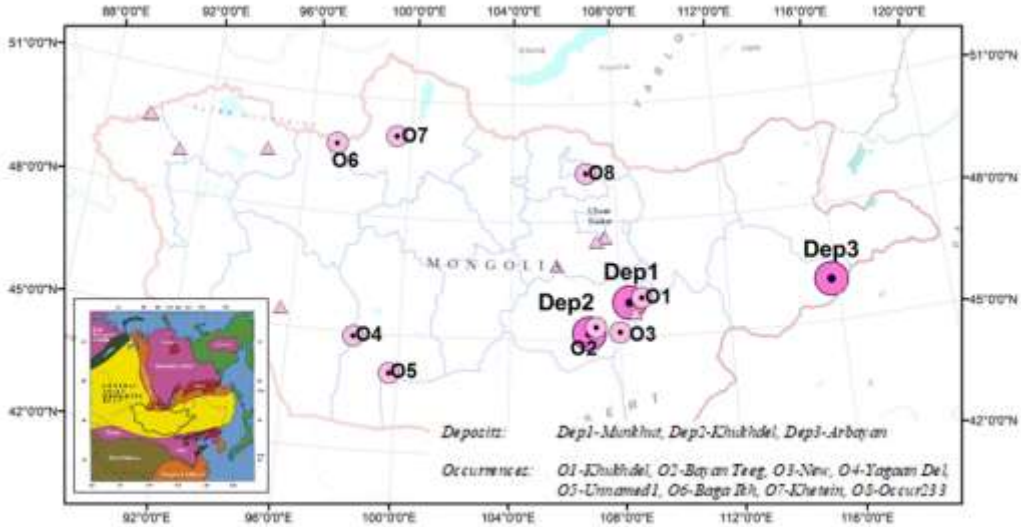


Figure 1. Location map of lithium deposits and occurrences

Lithium deposits have three different types and those related with Jurassic sediments, lithium bearing pegmatite and basic metal bearing greisen. Major lithium minerals showed lithium bearing micas, lepidolite, and zinnwaldite. Lithium grades of deposits are Li 0.3-1.0% Munkhut, Li 0.3% Khukhdel and Li 0.4% Arbayan. All lithium occurrences are related with lithium bearing pegmatites and associated silicate minerals are lepidolite and spodumene. Lithium grades of occurrences are Li 0.27-0.30% Khukhdel, Li 1.71-2.15% Bayanteeg, Li 0.3-0.6% New, Li 0.1-1.0% Yagaandel, Li 0.1% Unnamed1, Li 1.0% Baga Ikh, Li 0.04-0.15 Khetein and Li 1.0% Occur233.

In Central Mongolia, the Khukh Del deposit (KDD) related sedimentary rocks has around 37,700 tons of confirmed lithium resource in 122,300 tons of ore. As for the Munkhtiin Tsagaan Durvuljin (MTD) deposit related lithium bearing pegmatite, the Mineral Resources and Petroleum Authority of Mongolia reported that the deposit has actual reserves of 14,575 tons in 2.2 million tons of ores.

Keywords: Lithium, Pegmatite, Lepidolite

Metallogeny of Rare Earth Elements of Mongolia

Jargalan S and Tamir B*, Mongolian University of Science and Technology

Rare earth elements (REE) are widely used in high technologies, medical devices, and military defense systems, and are especially indispensable in emerging clean energy. Along with the growing market of green energy in the next decades, global demand for REE increases continuously. A number of geological processes can lead to concentration of REEs in specific types of rock. Understanding the distribution and origin of REE deposits and identifying and quantifying REE resources have become strategic priorities of Mongolia. Unlike other metals such as gold, copper etc, the REEs were not discovered and relatively poorly studied in Mongolia. Result of various types of geological study including geological mapping and academic research and exploration reports indicate that we have four REE bearing deposits, eighty occurrences and more than three hundred anomalous areas. Two main types of REE mineralization is identified, which are carbonatite related and alkaline related. In or der to make clear distribution characteristics and metallogenic features of REE mineralization in Mongolia, we studied more than 80 localities and analyzed more than 250 samples for major, trace and REE amount by ICP-MS technique. As a result, we understood that REE mineralization is strongly controlled by magma types and its distribution shows spatial relation with geodynamic setting.

Result of iour study indicates that REE related rocks are clearly alkaline. REE abundance shows clear difference between two types of mineralization: alkaline related REE mineralization indicates that amount of REE content shows positive correlation with silica content, indicating REE enrichment is influenced by magma differentiation, but carbonatite related mineralization shows weak or no correlation. On the chondrite normalized REE pattern rocks of alkaline related mineralization show clear negative europium anomaly, indicating plagioclase fractionation, but rocks from carbonatite related mineralization no europium anomaly detected, indicating difference between magma source.

Source of magma is very important for formation of REE mineralization, therefore, we plotted magma source discrimination diagram, and all REE mineralization related intrusive rocks A type or anorogenic magma source. Tectonic environment of REE related intrusive rocks checked on Pearce's tectonic discrimination diagram and result shows that rocks are formed within plate setting.

Keywords: Rare earth element, metallogeny, rift, geochemistry

Corresponding author: Sereenen Jargalan sjrgln@gmail.com

Coal deposits of Mongolia

Ochirbat M*(Mongolian Society of Economic Geologists), Jargalan S (Mongolian University of Science and Technology)

Coal deposition in Mongolia was occurred at four main geological periods: Carboniferous, Permian, Jurassic and Cretaceous. Carboniferous, Permian and Jurassic age coal is high in quality and partly they have coking feature as well as containing anthracite. Cretaceous coal is low quality and dominated by brown coal. In western and south western part of Mongolia formed carboniferous, Permian and Jurassic age coal, which deposited in the foreland depressions, formed by crustal compression. In contract, cretaceous age coal is formed eastern part of Mongolia and are deposited in the depressions related with crustal extension.

There are 15 coal basins in Mongolia, which includes more than 160 coal deposits and 345 coal occurrences. Mongolia has abundant resources of coal and it accounts about 150 billion tons. Main coal basins are described below.

Hotgor coal deposit (Carboniferous age) is located in the western Mongolia. Coal seams are hosted by Pennsylvan Uliastai formation. There are 13 coal seams, which makes approximately 1150 m thick. Currently, over 1022 million tons of coal resource has been estimated in the deposit. Coal rank is medium volatile bituminous using ASTM standard D388.

Tavantolgoi coal deposit (Permian age) is located in the Southern Mongolia. Coal seams form synclinal fold structure. Coal-bearing sediment is Guadalupian-Lopingian in age. There are 16 coal seams, which makes approximately totally 965-1990m thick. Coal reserve of Tavantolgoi is estimated at 7000 million tons. Coal rank is low to medium volatile bituminous using ASTM standard D388.

Ovoot Khural depression (Jurassic age) is located in the southwestern Mongolia. Coal-bearing sediments developed in an intermountain basin during the Lower-middle Jurassic age. Coal seams form monoclonal structure, dip 25 to 80 degree to south direction. There are 9 coal seams, making totally 1350m thick. Totally, 16 coal deposits found throughout Ovoot Khural coal bearing depression, which stretches more than 100km and 20km in width. The thickness of coal seams ranges from 5m to 150m. Currently, over 1300 million tons of coal reserve has been estimated.

Erdenetsogt coal deposit (Cretaceous age) is located in the southeastern Mongolia. The coal deposit hosted by Lower Cretaceous Khukh Teeg formation. The combined coal thickness of the eight seams averages 79 m. The coal resources 2000 million tons, and classified as Lignite A.

Keywords: brown coal, coking coal, anthracite, depression, Mongolia
Corresponding author: M.Ochirbat ochirbatgeo@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Oral presentation | R1: Characterization and description of minerals

Sun. Sep 22, 2019 9:45 AM - 12:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 12:45 AM - 3:00 AM UTC | Lecture Ia Lecture

R1: Characterization and description of minerals

Chairperson:Masanori Kurosawa, Koichi Momma, Toshiro Nagase

[座長]
黒澤 正紀：R1-01〜R1-03
門馬 綱一：R1-04〜R1-06
長瀬 敏郎：R1-07〜R1-09

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

[R1-01] Calculation of EFG due to ligand oxygens nearest neighbors to Fe^{3+}in the *M*1 site of aegirine

*Keiji Shinoda[1], Yasuhiro Kobayashi[2] (1. Osaka City Univ. Sci., 2. Kyoto Univ. KURNS)

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

[R1-02] An estimate of electric field gradient tenosr of Fe^{2+} in *M*2 site of augite by Mössbauer microspectroscopy

*Daiki Fukuyama[1], Keiji Shinoda[1], Yasuhiro Kobayashi[2] (1. Osaka City Univ., 2. KURNS)

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

[R1-03] Pattern indexing of electron diffraction based on dynamical effect

*Yusuke Seto[1], Masahiro Ohtsuka[2], Yohei Igami[3], Akira Miyake[4] (1. Kobe Uni. Sci., 2. Nagoya Uni. Eng., 3. Nagoya Uni. IMaSS., 4. Kyoto Uni. Sci.)

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

[R1-04] Precession electron diffraction method analysis of mineral

*Akira MIYAKE[1], Yusuke SETO[2], Yohei IGAMI[3], Masahiro OHTSUKA[4] (1. Kyoto Univ. Sci., 2. Kobe Univ., 3. Nagoya Univ., 4. Nagoya Univesity)

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

[R1-05] Background holes in wavelength-dispersive X-ray spectrometry using thallium acid phthalate analyzing crystal

*Takenori Kato[1], Mi-Jung Jeen[2] (1. Nagoya Univ. ISEE, 2. Core Res. Facility, PNU)

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

[R1-06] “Paraiba” tourmaline (1); The gemological definition and its geographic origin

*Hiroshi Kitawaki[1], Kentaro Emori[1] (1. Central Gem Laboratory)

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

[R1-07] ”Paraiba” tourmaline (2); Chemical analysis using LA-ICP-MS and its application for origin determination

*Kentaro Emori[1], Hiroshi Kitawaki[1] (1. Central Gem Laboratory)

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

[R1-08] Two types of fine structure in the infrared OH-stretching bands of gedrite-group amphiboles

*Kiyotaka Ishida[1], Frank C. Hawthorne (1. Non)

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

[R1-09] Chemical compositions of katoite from Tadano, Fukushima Prefecture, Japan

*Yasuyuki Banno[1], Michiaki Bunno[2] (1. AIST, 2. Univ. of Tokyo)

エジリンの *M*1 席 Fe^{3+}の電場勾配テンソルの実験値と計算値の比較

篠田圭司 (阪市大・理), 小林康浩 (京大・複合研)

Calculation of EFG due to ligand oxygens nearest neighbors to Fe^{3+}in the *M*1 site of aegirine

Keiji Shinoda* (Osaka City Univ.), Yasuhiro Kobayashi (KURNS)

Mössbauer spectroscopy is an excellent method for the analysis of Fe^{2+} and Fe^{3+} ratio in minerals, and has been used widely for the analysis of Fe-bearing minerals. Although a powdered sample has been used as a Mössbauer sample, it is not useful for the Mössbauer analysis of small areas in mineral grains. Recently, Mössbauer microspectroscopy is used to measure the spectra of individual single crystal in a thin section to overcome the disadvantage of spatial resolution of the powder method. The electric field gradient (EFG) tensor of the ^{57}Fe Mössbauer nucleus is an important physical property in Mössbauer spectra measurements of a single crystal because the EFG gives a constraint on the intensity of quadrupole splitting peaks. Zimmermann (1975, 1983) introduced an experimental determination method of the EFG tensor from the Mössbauer spectrum of a single crystal and proposed a formulation of the EFG tensor from the intensities of the component peaks of an asymmetric Mössbauer doublet. Using Zimmermann's formulation, we revealed the EFG tensor of Fe^{3+} in the octahedral *M*1 site of aegirine (JMPS, 2019). In principle, the EFG tensor can be calculated from the crystal structure because the EFG tensor components result from ligand and valence electron contributions and are the second partial derivatives of the potential of a point charge of an electron at the Mössbauer nucleus. In this study, the experimentally determined EFG tensor and asymmetric parameter η of aegirine were compared with the EFGs and ηs calculated from the crystal structure of aegirine reported by Clark et al. (1969) and Redhammer et al. (2000). The EFG due to ligand contributions is calculated from the nearest neighboring six oxygens coordinating Fe^{3+} in aegirine. As a result, the EFG tensors and the asymmetric parameter η calculated from the crystal structure show considerable variation, depending on small differences in atomic position suggested by X-ray diffraction analysis. Thus, the EFG calculated from crystal structure analysis may not be reliable for predicting the correct EFG and the intensity of a quadrupole doublet. Experimental determination of EFG is required for single crystal Mössbauer measurements.

Keywords:Mössbauer spectroscopy, microspectroscopy, electric field gradient, aegirine
*Corresponding author: shinoda@sci.osaka-cu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

メスバウアー分光法による長野県産普通輝石の *M2* 席の Fe^{2+}の電場勾配テンソルの推定

福山大毅（阪市大），篠田圭司（阪市大），小林康浩（京大・複合研）

An estimate of electric field gradient tensor of Fe^{2+} in *M2* site of augite by Mössbauer microspectroscopy

Daiki Fukuyama* (Osaka City Univ.), Keiji Shinoda (Osaka City Univ.),
Yasuhiro Kobayashi (KURNS.)

輝石はイノケイ酸塩鉱物であり，化学式は$(Ca,Fe,Mg)_2Si_2O_6$と表される．輝石は隣り合うSiO_4四面体が 1 つの頂点の酸素を共有して鎖状につながっている．Si 以外の陽イオンは，SiO_4四面体鎖の間に入り，SiO_4四面体の頂点で囲まれる位置は *M1* 席，底面で囲まれる位置は *M2* 席と呼ばれる．鉄の *M1* 席と *M2* 席の分配を求める方法にメスバウアー分光法がある．メスバウアー分光法では粉末状の輝石が測定に用いられてきたが，この方法では薄片中の微小な輝石の測定は難しい．単結晶薄片でのメスバウアー分光法が確立されることでこの問題点は解決されると考えられる．単結晶薄片試料の場合，四極子ダブレットのピーク比（I^h/I^{total}）は，粉末状の測定時のように対称ではなく，結晶とγ線の入射方向によって異なる．ピーク比（I^h/I^{total}）とは高エネルギー側の吸収ピーク面積（I^h）と低エネルギーの吸収ピーク面積（I^l）の和（$I^{total}=I^h+I^l$）に対する高エネルギー側の吸収ピーク面積の比のことである．^{57}Fe メスバウアーダブレットはFe^{2+}とFe^{3+}の含まれている席の電場勾配(EFG)テンソルと関係している（Zimmermann 1975, 1983）．よって，単結晶薄片のメスバアウアー測定においてはEFGテンソルを決定するで，任意の方向におけるピーク比を算出することが可能となる．Tenannt *et al.*(2000)によって単斜輝石の *M1* 席の Fe^{2+}の EFG テンソルは明らかにされている．しかし，単斜輝石の *M2* 席の EFG については明らかにされていない．本研究では，Zimmermann(1975, 1983)の方法により，定方位薄片の普通輝石の ^{57}Fe メスバウアースペクトルから *C2/c* 単斜輝石の *M2* 席の EFG テンソルを求めることを目的とした．

単結晶メスバウアー測定試料として長野県の単結晶の普通輝石を用いた．プリセッションカメラを用いて，*a**，*b**に垂直，及び（-202）面に平行な 3 枚の定方位薄片を製作した．各薄片に 3 方向からγ線を照射して，計 9 つのメスバウアースペクトルを得た．スペクトルは *M1* 席のFe^{2+}と *M2* 席のFe^{2+}が重なり合っていると仮定し，メスバウアースペクトル解析ソフトウェア MossWinn を用いてピーク分離を行った．その際，*M1* 席のFe^{2+}のピーク比は Tennant et al.(2000)を用いて計算した．生データのダブレットから *M1* 席のFe^{2+}のダブレットを引き，残りのダブレットを *M2* 席の Fe^{2+}のダブレットとした．得られた *M2* 席の Fe^{2+}のダブレットのピーク比から *M2* 席の Fe^{2+}の EFG テンソルを求めた．しかし，EFG テンソルの誤差が大きいこと，及び固溶体組成と EFG テンソルとの関係が課題として残った．

Keyword: Augite, Mössbauer spectroscopy, electric field gradient tensor

E-mail:m19sc021@hb.osaka-cu.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

動力学効果を考慮した電子回折パターンの方位解析

瀬戸 雄介* (神戸大・院理), 大塚 真弘 (名大・院工), 伊神 洋平(名大・未来研), 三宅 亮 (京大・院理)

Pattern indexing of electron diffraction based on dynamical effect

Yusuke SETO* (Kobe Univ.), Masahiro OHTSUKA, Yohei IGAMI (Nagoya Univ.), Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)

はじめに

透過電子顕微鏡(TEM)による電子回折法は、ナノスケールでの結晶相同定や方位解析の強力なツールとして、鉱物科学における必須技術となっている。特に近年は、高感度のCCD/CMOS カメラが普及し、高速かつ定量的な回折強度の取得が出来るようになっている。ただし、低次の晶帯軸入射の場合や、低対称性あるいは複数の結晶が混ざった複雑な回折パターンを解析する場合は、試行錯誤的な指数付けを行わざるを得ない。さらに、電子と物質の相互作用は非常に大きく動力学的効果が顕著であるため、回折強度の定量的な評価は(X 線に比べて)簡単ではない。そこで本研究では、動力学的効果を加味した自動方位解析プログラムの開発を行った。

手法

撮影した回折パターンは、ノイズフィルタと加重 Median フィルタを施した後、2 次元フォークト関数でフィッティングし、回折スポットの強度と位置を検出する。一方、候補結晶の逆格子点座標は、ある基準方位の下で、予め必要な数だけ計算しておく。次に、検出された回折スポットの逆空間座標に適当な回転行列をかけ、回転後の座標集合(の一部)が候補結晶の逆格子点座標(の一部)に一致した場合は、指数付けを行う。この時点で座標が一致した回折スポットは除外されるが、一致しなかった残りの回折スポットについては、別の方位（あるいは別の結晶）からの寄与と見なし、さらに適当な回転行列を探索する。この手順によって、高次ラウエゾーン(HOLZ)まで含めた指数付けや、複数の粒子・相からなる回折パターンの解析が可能になる。さらに、得られた結晶方位を基準にして、わずかに結晶が回転した場合の回折強度を動力学計算し、観測した回折強度(の比)を最も再現する試料の厚みと方位を最終的に出力する。

動力学的計算ではBethe固有値法を用いた。この手法では、結晶中の電子を波動方程式とブロッホの定理で記述し、周期ポテンシャル場で存在可能な電子波(ブロッホ波)を求める。さらに試料の界面で入射波と散乱波をなめらかに繋げることによって回折波の振幅を計算する。

結果と考察

図 1 に柱石の収束電子回折(CBED)パターンを示す。構造が複雑な鉱物試料の回折強度を精度良く再現するには、ブロッホ波(N)の数を十分大きくする必要がある(>~500)が、動力学計算の時間は N^3 に比例する。そのため、固有値計算を高度に並列化し、さらに要素数に応じてライブラリを自動で選択することで計算時間を短縮するように工夫した。

図 2 に、エンスタタイト(直方晶系, *Pbca*)に対して比較的高次の晶帯軸から入射した回折パターンと、その指数付け結果を示す(図 1)。運動学的シミュレーション(図 1b)では、[001]晶帯軸から 10° 程度ずれたパターンのスポット位置は再現できている。ただし、動力学効果を考慮していないため、回折強度は再現できていない。観測結果の回折強度を最も良く再現するように、試料厚みと方位を細かく変化させて動力学シミュレーションを行い、観察強度も含めたパターンの再現に成功した(図 2c)。発表ではさらに他の解析例も紹介し、本手法の展望を述べる。

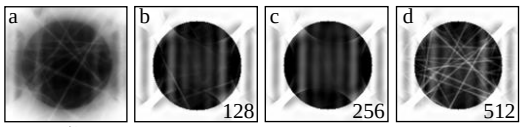


図 1. 柱石(scapolite)の(a)CBED パターンとそのシミュレーション結果 (b,c,d). N はブロッホ波の数.

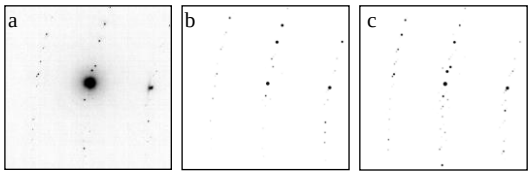


図 2. エンスタタイトの(a)電子回折パターンとその(b)運動学および(c)動力学的シミュレーション(t = 109nm)

Keywords: electron diffraction, crystal orientation, pattern indexing, dynamical simulation.

*Corresponding author: seto@crystal.kobe-u.ac.jp

Precession electron diffraction 法の鉱物への適用と評価

三宅亮*（京大・院理）・瀬戸雄介（神戸大・院理）・伊神 洋平（名大・未来研）
・大塚真弘（名大・院工）

Precession electron diffraction method analysis of mineral.

Akira MIYAKE (Kyoto Univ.)*, Yusuke SETO (Kobe Univ.),
Yohei IGAMI (Nagoya Univ.) and Masahiro OHTSUKA (Nagoya Univ.)

微小鉱物の相の決定や対称性の議論に透過型電子顕微鏡（TEM）を用いた電子回折法がよく用いられる。X 線回折の場合、反射が試料中で 1 回しか起こらないと仮定することができ、このことを運動学的回折とよぶ。一方、電子回折の場合、厚い試料中では 1 つの電子が何度も反射が起こるため、このことを考慮しなければならず、このことを動力学的回折とよぶ。このためらせん軸や映進面をもつ鉱物・結晶の場合、電子回折図形中に本来の消滅則では消える反射が観察できる場合がある。また、回折強度も動力学的回折の影響がでてくる。そのため、対称性の決定などに影響を与える。一方、この点を克服するために、入射電子線を円錐状に絞ることによって、ディスク上の回折図形を得る収束電子回折（Convergent-beam electron diffraction: CBED）法が知られている。CBED 法ではディスク内に現れる強度分布から対称性の議論が可能となる。しかし CBED 法では入射電子線を細く絞るため、試料ダメージが大きく、鉱物の適用範囲は限られる。

一方、近年注目されているプリセッション電子回折（Precession electron diffraction: PED）法（Vincent & Midgley, 1994 など）は、入射電子線を光軸に対して傾斜させ歳差運動させながら試料に照射し電子回折図形を取得する方法である。これにより、動力学的効果を軽減できるとされている。また、入射電子線を絞ることがないため、有機結晶はゼオライトなどの電子線ダメージに弱い試料にも適用が可能で、さらには 3 次元で取得する electron diffraction tomography と組み合わせることにより、構造解析も近年では行われている（例えば、Jiang et al., 2011）。そこで、本研究では、PED 法を鉱物に適用し、一般的な制限視野電子回折（Selected-area electron diffraction: SAED）法との差や、シミュレーションとの比較などを行った。

実験は、TEM（JEOL 社 JEM-2100F）と、HREM 社のソフト QED を組み合わせて行った。図 1 に forsterite の SAED 図形（a）、PED 図形（b）を示す。SAED 図形に比べて、PED 図形は、広角まで反射が得られていることがわかる。また、映進面の消滅則によって本来消える反射についても、SAED 図形にくらべて PED 図形では、強度が小さくなっていることがわかる。

図 1 a：SAED 図形

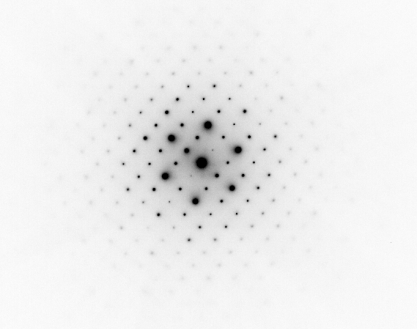
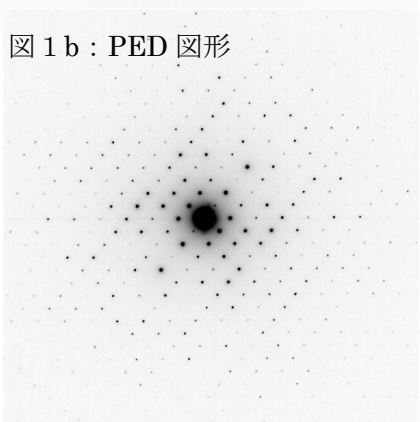


図 1 b：PED 図形



Vincent & Midgley (1994) Ultramicroscopy, 53, 271.
Jiang et al. (2011) Science 333, 1131.

Keyword: precession electron diffraction, selected-area electron diffraction, mineral
Corresponding author: miya@kueps.kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

TAP 分光結晶を用いた波長分散型分光器におけるバックグラウンドホール

加藤丈典（名大・ISEE）・陳美呈（釜山大・共同実験実習館）

Background holes in wavelength-dispersive X-ray spectrometry using thallium acid phthalate analyzing crystal

Takenori Kato* (Nagoya Univ.) and Mi-Jung Jeen (Pusan Natl. Univ.)

X 線分光分析に用いる分光器には、波長分散型分光器（WDS）とエネルギー分散型分光器（EDS）がある。EPMA や XRF では正確に X 線強度を測定できることが前提となる。特に、P/B の低い極微量元素の定量分析においては微弱な X 線を正確に測定する必要がある。そのような場合に問題となる点の一つにバックグラウンドホールがある（Self et al., 1990; Kato & Suzuki, 2011）。WDS では分光結晶の一つの結晶面でのみブラッグの反射条件が満たされて X 線が反射することを前提にしている。しかし、特定の条件下では複数の結晶面でブラッグの反射条件が満たされ、検出器に到達する X 線の強度が見かけ上低くなる。これを、バックグラウンドホールと呼ぶ。この影響を無視してしまうと X 線強度を過少に見積もる恐れがある。そのため、バックグラウンドホールの位置を正確に把握し、分析に影響が生じないようにしなければならない。

Self et al. (1990) は、LiF (200) におけるバックグラウンドホールの発生条件を示した。また、Kato & Suzuki (2014) は、PET(002)におけるバックグラウンドホールの発生条件を示した。軽元素分析で用いられる TAP(001)においても同様の問題が発生しうるため、バックグラウンドホールが発生する位置を、以下の条件で求めた。

・バックグラウンドホールを発生させる反射面の面指数

h, *k*, *l*: -9 から 9

・(001)面の入射角

25° - 135°

ICDD の PDF (00-030-1973)には、International Tables for Crystallography に示された反射条件を満たす面以外の面での反射も示されている。そこで、消滅則については考慮せずすべての面の反射を考慮した。この条件において、8 ヶ所にバックグラウンドホールが存在しうることが示された。そのうち 3 ヶ所は(001)面の入射角が 29° 以下の低角であった。

Keywords: Wavelength-dispersive spectrometry (WDS), Analyzing crystal, background hole, electron probe microanalysis (EPMA), X-ray fluorescence analysis (XRF)

*Corresponding author: kato@nendai.nagoya-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

“パライバ”・トルマリン(1)；宝石学的定義の変遷と原産地

北脇　裕士、江森健太郎（中央宝石研究所）

“Paraiba” tourmaline (1); The gemological definition and its geographic origin.

Hiroshi Kitawaki*, Kentaro Emori　(Central Gem Lab.)

鉱物としてのトルマリンは、化学組成の幅が広く、スーパーグループを構成している。一般化学式は $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ で表されており、X には Na^+, Ca^{2+}, K^+, □; Y には Fe^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{2+}, Cu^{2+}, Al^{3+}, Li^+, Fe^{3+}, Cr^{3+}; Z には Al^{3+}, Fe^{3+}, Mg^{2+}, Cr^{3+}; T には Si^{4+}, Al^{3+}, B^{3+}; B には B^{3+}; V には OH^-, O^{2-}; W には OH^-, F^-, O^{2-}が入る。それぞれのサイトに入る元素の組み合わせにより、トルマリンには多くの種類が存在する。現在、IMA の CNMNC において 33 種が承認されている。

このうち、トルマリンとして宝石市場で見られるもののほとんどは elbaite で、一部が liddicotite（厳密には fluor-liddicotite）、dravite や uvite である。しかし、宝石の標準的な鑑別方法では、トルマリンの種類を厳密に同定するのが困難なため、宝石名としては一般に色名を冠して○○トルマリンと呼ばれている。例えばピンク色のトルマリンはピンク・トルマリンと呼ばれているが、鉱物学的には elbaite や liddicotite が存在している。

パライバ・トルマリンは、1989 年に宝石市場に登場した彩度が高く鮮やかな青色～緑色の銅着色のトルマリンである。当初ブラジルのパライバ州で発見されたため、パライバ・トルマリンと呼ばれるようになったが、1990 年代には隣接するリオグランデ・ド・ノルテ州からも採掘されるようになった。両州から産出したものは混在したまま宝石市場に流れ、区別されることなくパライバ・トルマリンと呼ばれていた。

さらに 2000 年代に入って、ブラジルから遠く離れたナイジェリアやモザンビークなどのアフリカ諸国からも同様の含銅トルマリンが産出されるようになり、そのネーミングが問題となった。国際的な宝石鑑別ラボで構成される Laboratory Manual Harmonisation Committee (LMHC)では、原産地に関係なく、銅およびマンガンを有する青色～緑色の elbaite をパライバ・トルマリンと呼ぶことにし、2006 年 6 月に Information Sheet を発行した。しかし、2010 年以降、モザンビーク産の一部の含銅トルマリンに liddicotite に属するものが確認された。そこで 2012 年、LMHC では産地やトルマリンの鉱物学的な種類に関係なく、青色～緑色の含銅トルマリンをパライバ・トルマリンと定義した。このような定義づけは、CIBJO（国際貴金属宝飾品連盟）および ICA(国際色石協会)においても踏襲されており、国際的な宝石市場で広く受け入れられている。

パライバ・トルマリンの原産地は、ブラジルパライバ州のバターリャ鉱山が発見の地として有名であるが、現在の産出は限定的である。隣接するリオグランデ・ド・ノルテ州にはキントス鉱山とムルング鉱山が操業していたが、現在は後者のみが継続している。ナイジェリア産の含銅トルマリンは 2001 年頃に市場に登場したが、産出量は少なく、現在は還流品に見られるのみである。2005 年以降、宝石市場に流通するパライバ・トルマリンの多くはモザンビーク産のもので現在も安定的に市場供給されている。



Fig: Paraiba tourmaline from Brazil (8.6ct, 14.9ct, 3.3ct)

Keywords: Paraiba tourmaline, Copper bearing tourmaline
Corresponding author: kitawaki@cgl.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

“パライバ”・トルマリン (2);
LA-ICP-MS を用いた組成分析と原産地鑑別への応用

江森健太郎、北脇裕士(中央宝石研究所)

Paraiba tourmaline (2); Chemical analysis using LA-ICP-MS and its application for origin determination

Kentaro Emori*, Hiroshi Kitawaki (Central Gem Laboratory)

Chemical Analysis of tourmaline using LA-ICP-MS is difficult because chemical composition of tourmaline is complex. In this study, we analyzed Paraiba- tourmaline using LA-ICP-MS based on some assumptions and studied the origin determination of Paraiba- tourmaline.

鉱物としてのトルマリンは化学組成の幅がきわめて広く、スーパーグループを構成している。一般化学式は $XY_3Z_6(T_6O_{18})(BO_3)_3V_3W$ で表される。一般に宝石市場で見られるものは elbaite、fluor-liddicoatite、uvite、dravite である。

LA-ICP-MS を用いてトルマリンの組成分析を行うには(1)組成範囲が非常に広く、内標準元素を設定することができないため各元素の定量分析が困難である、(2)LiとBを含み、それらはLA-ICP-MSによる分析は可能ではあるが、一般的に用いられている標準ガラス試料であるNIST612、NIST610 に含まれる Li と B の濃度との差が著しいため定量分析が難しい、という問題点がある。

本研究で取り扱うパライバトルマリンは殆どが elbaite であり、一部 fluor-liddicoatite を含む。LA-ICP-MS を用いたトルマリンの分析方法については Sun et al., 2019 による先行研究があるが、elbaite には Li が多く含まれることもあり、以下の仮定に基づき、Li、B を計算で求めることにした;(1) B site は B が占める、(2) T site は Si と Al が占める、(3)Z site を占める元素のうち Al 以外は極微量であるため Al が占める、(4) Li の濃度は Y site に入る陽イオンの合計から計算する、(5)V と W は OH が占める。この仮定に基づき、測定された濃度から mol 比を求め、陽イオン、陰イオンの価数の合計が等しくなるように組成式を求め、組成式から元素濃度を逆算するという手法を用いた。

筆者らはパライバトルマリンの産地鑑別について、鉱物科学会 2017 年会講演会にて「多変量解析を用いた宝石鑑別」の発表の中で紹介したが、2 産地間毎の比較であった。本研究では宝石品質パライバトルマリンについて以上の計算法を用いた LA-ICP-MS による組成分析と産地鑑別についての応用を検討した。

本研究では様々LA-ICP-MS は ICP-MS 装置として Agilent 7900rb、LA 装置として NWR UP213 を用い、ブラジル産 94 点、ナイジェリア 79 点、モザンビーク産 27 点のサンプルを分析に用いた。

ブルー系のパライバトルマリンは Cu vs Ga のプロッティングを行うことで Cu が多いブラジル産、Ga の多いモザンビーク産、両者の含有量が低いナイジェリア産と区別することができることが判った。また、ブルーグリーン～グリーンブルーの色相のパライバトルマリンは Cu-Ga-Zn プロットを行うことでおよそのグルーピングが可能である。ブラジル産は Zn が多く、ナイジェリア産は Zn が少ない傾向にある。またブラジル産でも Zn が少ないものはナイジェリア産に比べ Cu または Ga の含有量が多いことが明らかになった。グリーン系については、ブラジル産は Mg が多く、ナイジェリア産は Mg が少ないといった傾向がある。

産地鑑別の研究は出所の確かなサンプルの収集が肝要であり、現時点ではサンプル数が不十分な点が産地がある。今後はサンプルを増やしデータベースを充実させていく予定である。

Sun Z., Palke A. C., Breeding C. M., Dutrow B. L. (2019) A new method for determining gem tourmaline species by LA-ICP-MS. Gems and Gemology, vol. 55, pp. 2-17

Keywords: LA-ICP-MS, tourmaline, elbaite, Paraiba tourmaline

*Corresponding author: emori@cgl.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ゲドル閃石の２種類の赤外 OH 伸縮振動バンド微細構造

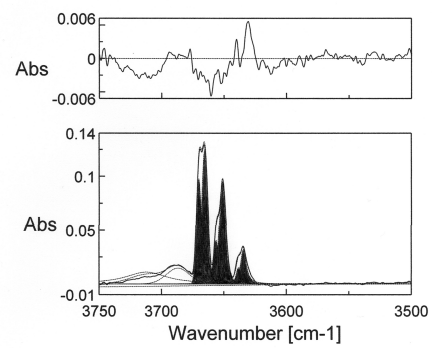
石田清隆（無所属）*・ Frank C. Hawthorne（マニトバ大学）

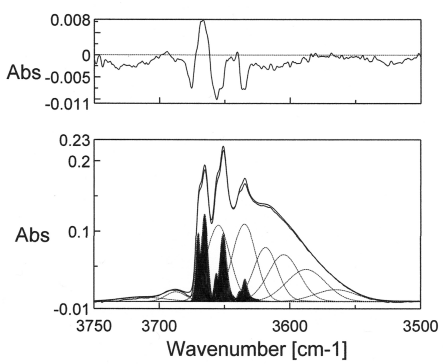
Two types of fine structure in the infrared OH-stretching bands of gedrite-group amphiboles

Kiyotaka Ishida (Non)* and Frank C. Hawthorne (Univ. of Manitoba)

Abstract

Bands assignment and decomposition analysis for the infrared OH-stretching bands of seven pairs hydrothermally treated (for 4 days at 700 °C, 200 MPa on the C–CH_4 buffer) and untreated anthophyllite–gedrite series amphiboles have been done. All samples were characterized in detail by Schindler et al. (2008) and Hawthorne et al. (2008). Below about 3690 cm^{-1}, two types of fine structure in the OH-stretching bands with vacant A-site occur due to the two types of configurations of SiSi and SiAl at adjacent T1T1 tetrahedra; the M1M1M3-OH-$^{A}\square$: $^{T1}Si^{T1}Si$-M2M3M2 series (labeled A_A–D_A, A_B–D_B, etc.) and the M1M1M3-OH-$^{A}\square$: $^{T1}Si^{T1}Al$-M2M3M2 ($^{A}\square$ = vacant A site) series (labeled A_{TA}–D_{TA}, A_{TB}– D_{TB}, etc.). With heat treatment, the intensities of the lower-frequency bands in both fine structures increase due to the exchange reaction: $^{M(1,2,3)}Mg + {}^{M4}Fe^{2+} \rightleftharpoons {}^{M(1,2,3)}Fe^{2+} + {}^{M4}Mg$. **Procedures for analysis:** The spectra for samples with $^{[4]}Al \leq$ 1.0 a.p.f.u. (anthophyllite-rich samples) were analyzed in one stage: after the background was modeled by a spline, least-squares analysis with unconstrained frequencies, FWHMs (full-width at half-maximum height), peak intensities, and the ratios for Gaussian and Lorentzian components for each band was done. Gedrite samples containing $^{[4]}Al > 1.0$ a.p.f.u. were analyzed in two stages: using the parameters obtained in the first stage (cf. left Figure), additional unconstrained parameters for the same number of band-pairs from the first stage were introduced (cf. right Figure).





Keywords: gedrite, OH-stretching band, fine structure

*Corresponding author: kiyotakaishida@iki.bbiq.jp

福島県多田野産加藤石の化学組成

坂野靖行*（産総研）・豊　遙秋（東大総博）

Chemical compositions of katoite from Tadano, Fukushima Prefecture, Japan

Yasuyuki Banno* (AIST), Michiaki Bunno (Univ. of Tokyo)

加藤石は Passaglia and Rinaldi (1984)によりイタリア Campomorto 採石場に分布するフォノライト中の空隙より発見され，新鉱物(IMA No. 1982-080)として記載された．原記載ではその理想化学式は $Ca_3Al_2(SiO_4)(OH)_8$ と定義され，灰礬石榴石($Ca_3Al_2Si_3O_{12}$)と加藤石の間に $SiO_4 = \square(OH)_4$ という置換関係が存在することが示された．最近，石榴石超族が IMA CNMNC により承認された(Grew *et al.*, 2013)．これによると石榴石超族の一般組成式は$\{X_3\}[Y_2](Z_3)\varphi_{12}$ と表現され，加藤石の理想化学式は$\{Ca_3\}[Al_2](\square_3)(OH)_{12}$ と再定義された．そして灰礬石榴石―加藤石系列の一般組成式は$\{Ca_3\}[Al_2](Si_{3-x}\square_x)O_{12-4x}(OH)_{4x}$ となり，$x < 1.5$ の場合(Si > 1.5 apfu)は灰礬石榴石に，$x > 1.5$ の場合は加藤石に分類される．日本産の灰礬石榴石―加藤石系列の大部分は Si > 1.5 apfu を示すいわゆる“hydrogrossular”である．豊ほか(1983:三鉱学会要旨)は福島県郡山市多田野に分布する安山岩中のスカルンゼノリスより Si = 1.25-1.39 apfu を示す灰礬石榴石―加藤石系列に属する鉱物の化学組成を報告した．豊ほか(1983)ではこれは“hydrogrossular”と記述されているが組成的には加藤石に相当する．今回この加藤石の EPMA による化学組成の再検討を行い，少量の S, F, Cl が含まれることが判明したのでその概要を報告する．

多田野産加藤石は和田石結晶の縁辺部や割れ目に沿って和田石を置換して産する．完全に加藤石に置換され和田石仮像として産することも多い．定性分析の結果，原子番号 5 以上の元素としては O, F, Mg, Al, Si, S, Cl, Ca, Ti, Fe が検出された．BSE 像観察では，加藤石は不均質であり，中心部に比較的 S に富む明部が，縁辺部に S に乏しい暗部が分布する傾向が認められる．加藤石の実験式を全鉄 $= Fe^{3+}$, Ca = 3 として計算した．H_2O は total anions = 12 と charge balance より計算した．平均組成(n = 211)は$\{Ca_3\}[Al_{1.59}Fe^{3+}_{0.20}Mg_{0.07}Ti_{0.02}]_{\Sigma1.88}(Si_{1.15}S_{0.11}\square_{1.74})_{\Sigma3}[(OH)_{6.99}O_{4.81}F_{0.16}Cl_{0.04}]_{\Sigma12}$ である．*Z* site では□ (vacancy)が卓越し，加藤石に分類される．S の範囲は 0.00-0.20 apfu である．S の増加に伴い，^{Y}[Al,Fe^{3+},Mg,Ti] は減少し，その範囲は 1.73-2.03 apfu であり，S > 0.03 apfu を示すものは ^{Y}[Al,Fe^{3+},Mg,Ti]は理想値2 apfu を有意に下回る．縁辺部に分布する S < 0.03 apfu を示す加藤石の平均組成 (n = 17) は$\{Ca_3\}[Al_{1.74}Fe^{3+}_{0.23}Mg_{0.01}Ti_{0.02}]_{\Sigma2.00}(Si_{0.99}S_{0.01}\square_{2.00})_{\Sigma3}[(OH)_{7.75}O_{4.05}F_{0.19}Cl_{0.01}]_{\Sigma12}$ であり，*Y* site は理想値(2 apfu)を示す．今回の結果は，多田野産加藤石の *Y* site には□ (vacancy)が存在しており，それは最大で 0.27 apfu に達することを示唆する．

Keywords: katoite, wadalite, Tadano

*Corresponding author: y-banno@aist.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Oral presentation | R3: High-pressure science and deep Earth's material

Sun. Sep 22, 2019 9:45 AM - 12:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 12:45 AM - 3:00 AM UTC | Lecture Ib Lecture

R3: High-pressure science and deep Earth's material

Chairperson:Takaaki Kawazoe, Hiroaki Ohfuji

[座長]
川添 貴章：R3-01〜R3-05
大藤 弘明：R3-06〜R3-09

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

[R3-01] Effect of the pressure scale problem on the core density deficit

*Takeshi Sakai[1] (1. GRC, Ehime Univ.)

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

[R3-02] Structures of amorphous hydrous sodium silicates under pressure

「発表賞エントリー」

*Tomonori Ohashi[1], Tatsuya Sakamaki[1], Ken-ichi Funakoshi[2], Takanori Hattori[3], Asami Sano-Furukawa[3], Miki Muranushi[1], Chikara Shito[4], Osamu Ikeda[1], Yoshiaki Ito[1], Yuki Shibazaki[5], Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Univ., Sci., 2. CROSS, 3. JAEA, 4. Univ. Tokyo, Sci., 5. NIMS)

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

[R3-03] Compositional convection and solidification modes of the Fe-S core

*Satoru Urakawa[1], Hidenori Terasaki[2] (1. Okayama Univ., 2. Osaka Univ.)

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

[R3-04] **Argon cycle in Earth’s interior**

*Shigeaki Ono[1] (1. JAMSTEC)

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

[R3-05] High-temperature heat capacity measurement of Mg_2SiO_4 wadsleyite

*Hiroshi Kojitani[1], Yuki Tsunekawa[1], Masaki Akaogi[1] (1. Gakushuin Univ. Sci.)

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

[R3-06] **The stability of Fe_5O_6 and Fe_4O_5 at high pressure and temperature**

Koutaro Hikosaka[2], *Ryosuke Sinmyo[1,2], Kei Hirose[2,3], Takayuki Ishii[4], Yasuo Ohishi[5] (1. Meiji Uni., 2. U. Tokyo, 3. Tokyo Tech., 4. BGI, 5. JASRI)

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

[R3-07] High-pressure phase relations in chromite spinel-bearing systems

Kazuaki Yoshida[1], Hiroshi Kojitani[1], *Masaki Akaogi[1] (1. Gakushuin Univ.)

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

[R3-08] Single crystal synthesis of δ-(Al,Fe)OOH

*Takaaki Kawazoe[1,2], Itaru Ohira[3,4], Takayuki Ishii[2], Akio Suzuki[3], Eiji Ohtani[3] (1. Hiroshima Univ., Sci., 2. Univ. Bayreuth, BGI, 3. Tohoku Univ., Sci., 4. Carnegie Institution of Washington)

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

[R3-09] Dislocation creep of dry orthopyroxene aggregates under high P-T conditions

*Yumiko Tsubokawa[1], Tomohiro Ohuchi[1], Yuji Higo[2], Yoshinori Tange[2], Tetsuo Irifune[1] (1. Ehime Uni. GRC, 2. JASRI)

圧力スケールの違いが与える核の密度欠損への影響

境毅（愛媛大・GRC）*

Effect of the pressure scale problem on the core density deficit

Takeshi Sakai (GRC, Ehime Univ.)*

Density of iron at the inner core boundary (ICB) condition depends on the pressure scale adopted to determine a pressure of its equation of state. Here we examined the effect of the pressure scale problem on the density deficit (cdd) of Earth's core. The density deficit value differs from 3.4% to 4.7% depending on the choice of pressure scale. I also estimate the possible amount of silicon in the inner core and its several errors come from each of the uncertainty of the ICB temperature, core density, average thermal expansivity, and nickel content. The silicon content variation due to the choice of pressure scale is comparable or larger than the errors come from other uncertainties.

１．はじめに

地震学的に観測・決定された地球の核の密度と，核の主要成分である鉄の密度との不一致（$\rho_{Fe} > \rho_{core}$）は、核の密度欠損問題として知られている。核に相当する高温高圧下での ρ_{Fe} は鉄の状態方程式から見積もられるが，圧力の校正に用いられた圧力スケールの選択によって，その結果は異なる。特に地球の内核に相当する 330-364 GPa の圧力では，スケール間の圧力差は顕著であり，核の密度欠損を考えるうえで圧力スケール問題は不可避の問題である。

２．手法

ここでは、MgO スケール(Keane EoS, Sakai et al., 2016)を基準として，MgO, Pt, NaCl, Fe, Fe-Ni, Fe-Ni-Si の 300 GPa に及ぶ圧縮データ(Sakai et al. 2011, 2012, 2014)を基に核の密度欠損および核の軽元素量を見積もった（ここでは Si のみ考慮)。これに対し，他の圧力スケール（後述）を採用した場合にそれぞれの推定値がどれだけ変化し得るかを計算した。

３．結果と考察

MgO スケールを基準とし，内核境界(ICB)の温度圧力条件，平均熱膨張率$\bar{\alpha}$をそれぞれ 329 GPa, 5000 K, $\bar{\alpha}$=1.0x10^{-5} とした場合に，内核境界における密度欠損は，純鉄の場合 4.7%，Ni=5 at.%の場合は 5.8%となった。純鉄について Dewaele et al (2006)で報告された密度欠損の値は 5.3%であり、下記に述べる種々の誤差の大きさを考えれば、今回の結果(4.7%)と比較的近い値といえる。一方、Dorogokupets and Oganov (2007), Yokoo et al. (2009), Holmes et al. (1989)の白金圧力スケールを基準とした場合には密度欠損の値はそれぞれ 4.5%, 3.5%, 3.4%となり，後者２つについては特に低い値を与える。

Fe-Ni-Si 合金の密度との比較から Si が密度低下に与える効果を算出し、密度欠損5.8%を説明するのに必要な Si を見積もると 6.4 wt％となった。これに対し、温度誤差±1000 K，$\bar{\alpha}$の誤差±0.1x10^{-5}，ICB での内核密度そのものの誤差±2%，Ni 量の誤差±5 at.%を考慮した場合，必要な Si 含有量はそれぞれ±1.6 wt.%，±0.6 wt.%，±2.4 wt.%，±1.3 wt.%だけ変化しうる。これに対し、Yokoo et al. (2009)の白金スケールを用いた場合の密度欠損を説明する Si 量は，2.4%となり，上述の MgO スケールの場合と比べて 4.0 wt%も少ない。密度欠損及び軽元素の推定量に与える圧力スケールの違いによる効果は，その他考えられ得る様々な誤差と比べても同等あるいはやや大きいと言えるだろう。

Keywords: Core density deficit, pressure scale, equation of state, light elements in the core
Corresponding author: sakai@sci.ehime-u.ac.jp
@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高圧力下における含水非晶質ナトリウム珪酸塩の構造

大橋智典[1]*、坂巻竜也[1]、舟越賢一[2]、服部高典[3]、佐野(古川)亜沙美[3]、村主樹[1]、市東力[4]、池田理[1]、伊東義章[1]、柴﨑裕樹[5]、鈴木昭夫[1]
([1]東北大院理、[2]CROSS、[3]原研、[4]東大院理、[5]物材研)

Structures of amorphous hydrous sodium silicates under pressure

Tomonori Ohashi[1]*, Tatsuya Sakamaki[1], Ken-ichi Funakoshi[2], Takanori Hattori[3], Asami Sano-Furukawa[3], Miki Muranushi[1], Chikara Shito[4], Osamu Ikeda[1], Yoshiaki Ito[1], Yuki Shibazaki[5], Akio Suzuki[1] ([1] Tohoku Univ., Sci., [2] CROSS, [3] JAEA, [4] Univ. Tokyo, Sci., [5] NIMS)

1. 目的

高圧下におけるマグマの振る舞いは、地球深部の物質循環を解明する上でたいへん重要である。マグマの駆動性はマグマの物理化学的な性質によって支配されており、特に水は密度（例えば Sakamaki et al., 2006）や粘度（例えば Suzuki et al., 2011; Poe et al. 2006）といったマグマの物性に多大な影響を及ぼす。加えて、このようなマグマの物性はその構造によって理解・説明できるため、圧力起因の構造変化を調べることは非常に興味深い。そこで、中性子回折（ND）法によって無水ナトリウム珪酸塩ガラスの高圧その場構造解析、および常圧下での含重水ナトリウム珪酸塩ガラスの構造解析を行った。また、放射光 X 線回折（XRD）によって含水ナトリウム珪酸塩メルトの高温高圧その場構造解析を行った。

2. 手法

ND の出発試料には、SiO_2, Na_2CO_3 粉末の混合物を融点以下の温度で脱炭酸させた後に熔融、急冷した無水 Na_2O-8/3SiO_2（NS8/3）ガラスを用いた。ND 実験による無水 NS8/3 ガラスの構造解析は J-PARC の BL11 PLANET で行い、VX4 型のパリ・エジンバラプレスを用いて室温のもと約 7 GPa まで加圧した。含重水 NS8/3 ガラスは、同ビームラインに設置の 6 軸型マルチアンビルプレス圧姫を使い、無水 NS8/3 ガラスに 5, 9, 12 wt% の重水を加えたものを白金容器に密封して約 2 GPa, 約 1000–1300 °C から回収して得た。放射光 XRD 実験では、無水ガラスに 5 wt% および 9 wt% の蒸留水を加えて出発試料として使った。XRD の試料容器には、ダイヤモンド管に白金で蓋をした複合容器（Yamada et al., 2007）を用いた。実験は高エネルギー加速器研究機構の PF-AR NE5C で実施し、高温高圧発生装置にはキュービックアンビルプレス MAX80 を使った。発生した圧力および温度は 1.5–3.6 GPa, 約 1100–1300 °C であった。

3. 結果・考察

試料から得られた全構造因子 $S(Q)$ では、XRD, ND のいずれにおいても圧力増加に伴い第一ピークが高 Q 側へシフトしており、珪酸塩ネットワーク構造の収縮を示していた。構造因子のフーリエ逆変換である全二体分布関数 $G(r)$ において、常圧における無水 NS8/3 ガラスに比べ含重水 NS8/3 ガラス Si-O 結合長の方が長い原子間距離を示した。また、含水量の違いによって Si-O 結合長の圧縮挙動も異なっていた。例えば、NS8/3-H_2O（9 wt%）メルトの Si-O 結合長は圧力上昇によって単調に収縮した一方で、NS8/3-H_2O（5 wt%）メルトの Si-O 結合長はほとんど変化していなかった。この結果は、含水量に依存した珪酸塩融体のネットワーク構造の違い（例えば Zotov and Keppler, 1998）が SiO_4 四面体の大きさや圧縮挙動に影響を及ぼす可能性を示唆する。

Keywords: silicate melt, water, amorphous structure, high pressure and temperature

***Corresponding author: tomonori.ohashi.s8@dc.tohoku.ac.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Fe-S コアの固化モードと組成対流

浦川　啓(岡山大自然)，寺崎英紀（大阪大理）

Compositional convection and solidification modes of the Fe-S core

S. Urakawa* (Okayama Univ), H. Terasaki (Osaka Univ)

地球以外に，水星とガニメデが金属鉄からなる流体コアのダイナモ作用により生じた磁場を持っている。また，表面の残留磁気は火星と月に固有の磁場がかつて存在したことを示唆している。このような小天体のダイナモを駆動するのは，コアの組成対流である考えられ，コア上部で析出した固体鉄が沈降する“Fe-snowing”として知られるプロセスが組成対流を起こすという説がある。しかし，どのような圧力・組成条件において，コアが上部から固化するについてはまだよくわかっていない。本発表では Fe-S コアについて，この問題を検討する。

流体鉄合金からなるコアが上部から固化するのか，または下部から固化するのかという違いは，鉄合金の融点（リキダス）の圧力勾配とコアの断熱温度勾配の大小で決まる。リキダスの圧力勾配の方が小さい場合は上部から固化し，逆の場合は下部から固化する。

Fe-FeS 系の融点勾配については，Buono & Walker (2011)と我々の実験から 10GPa までデータがある。一方，断熱温度勾配は，我々の密度測定値から決めた高圧下の熱膨張率を用いて見積もった。10 GPa までの圧力範囲において，S < 10 at%ではリキダスの圧力勾配は断熱温度勾配よりやや大きいか同程度である。S > 10 at%を超えると，リキダス勾配の方が小さい状態が共融点まで続く。共融点より S に富む組成では，リキダス勾配と断熱温度勾配は拮抗するが，リキダス勾配の方がやや小さい傾向が見える。

この結果から，コアの圧力が 10 GPa までの範囲では，Fe-S コアの固化モードは次のようになる。S < 10 at%の組成では，コアは下部から Fe 結晶が析出し固体内核が成長する。このため，内核直上の流体核は低密度となり上昇し組成対流を起こす。一方，S > 10 at%ではコア上部から固化が始まる。共融点より Fe に富む領域では，析出した鉄が沈降するうちに再溶融する。また，共融点より S に富む領域では，析出した FeS が浮上して CMB 直下に溜まる。このように，コア上部で固化が始まる場合は，いずれも流体コア上部に Fe に富む高密度流体の領域が形成されて密度不安定が生じ，組成対流が駆動される。

Keywords: Planetary core, Fe-S liquid, planetary magnetism, compositional convection
*Corresponding author: urakawa@okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

アルゴンの地球内部循環

小野　重明（国立研究開発法人海洋研究開発機構）

Argon cycle in Earth's interior

Shigeaki Ono* (JASTEC)

The high-pressure study of physical properties of argon (Ar) has been performed by high-pressure experiments and first-principles calculations. An equation of state, melting curve, and some thermoelastic properties of Ar have been investigated to 400 GPa and 3000 K. The estimated density of Ar is smaller that of the PREM mantle, which indicates that the density crossover does not occur at the bottom of the lower mantle. The melting temperature of Ar has a significant pressure dependence. In the case of cold slab, solid Ar can be carried down into the deep mantle. Melting of solid Ar in the upwelling mantle plume occurs at the bottom of the transition zone.

希ガス、特にその同位体比は、地球表層から地球深部へいたる物質の大循環を解明するためのトレーサーとして極めて有用である。希ガスの中でアルゴンに関しては、火山岩中に保有されるマントル由来のアルゴンの分析から、海水由来であることが示唆されている。つまり、大気中のアルゴンが海水に溶け込み、その海水中のアルゴンが何らかのメカニズムで沈み込むスラブに取り込まれ、長い時間をかけてマントル中を循環し、最終的に中央海嶺やホットスポットから地表へ放出されているはずである。しかしながら、アルゴンがスラブに取り込まれるメカニズムについては理解されていない。そのため、アルゴンの地球内部での振る舞い知る手掛かりとして、種々の物性を知ることが不可欠である。本研究では、地球マントルに相当する高温高圧条件下での、アルゴンの物性を見積もることを目的とした。本発表では、見積もった物性の中で、密度と溶融温度に注目して、その結果とそれから予想されるアルゴンの振る舞いを報告する。

本研究では高圧実験と数値計算の2つの手法を組み合わせた。高圧実験では、ダイヤモンドアンビルセル高圧発生装置を用い、試料の測定は放射光施設を利用して粉末 X 線回折データを取得した。数値実験では、第一原理分子動力学法を用い、計算結果の統計的平均値から種々の熱物性を推定した。高圧実験によって室温での圧縮曲線を決定し、数値計算から高温条件下での物性を見積もった。本研究での温度圧力条件は、最高で 400GPa、3000K である。

常温常圧で気体であるアルゴンは、常温高圧下では固体の状態が安定であるため、固体アルゴンの状態方程式を決定した。そして、固体アルゴンとマントルの平均的な密度（PREM）を比較したところ、マントル条件下ではアルゴンは常にマントル物質より密度が小さいことが明らかになった。先行研究では、マントル最下部で密度逆転が起こることが予言されていたが、密度逆転の予想は誤りであることが明らかになった。数値計算結果からアルゴンの溶融曲線を見積もったところ、大きな圧力依存性を持っていることが予言された。遷移層で 2000K を超え、下部マントルでは3000Kをはるかに超える溶融温度を持つことが判明した。このことは、下部マントル中では、アルゴンは固体として安定であることを意味する。また、上部マントルおよび遷移層中でも、沈み込むスラブのような低温の領域では、アルゴンは固体で存在しうる。一方、アルゴンの溶融曲線とマントルの地温勾配は遷移層最下部で交差する。このことから、マントル上昇流とともに運ばれる固体アルゴンは、遷移層最下部で溶融を開始することが予想される。これらの研究結果から、地球内部でのアルゴンの循環メカニズムを解明する上で、固体アルゴンの溶融温度の圧力依存性が鍵であることが明らかになった。

Keywords: Argon, Equation of state, Melting temperature
***Corresponding author: sono@jamstec.go.jp**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Mg_2SiO_4 ワズレアイトの高温熱容量測定

糀谷浩*、恒川有希、赤荻正樹(学習院大・理)

High-temperature heat capacity measurement of Mg_2SiO_4 wadsleyite

Hiroshi Kojitani*, Yuki Tsunekawa, Masaki Akaogi (Gakushuin Univ.)

Mg_2SiO_4 ワズレアイト(Wd) は、マントル遷移層における主要構成鉱物の一つと考えられている。Mg_2SiO_4 リングウッダイトの定圧熱容量(C_P)が、従来の値よりも大きいことが Kojitani et al. (2012) により明らかにされたため、その低圧相である Mg_2SiO_4 Wd との相対的なギブスエネルギー関係が調和的ではなくなっていた。このため、Mg_2SiO_4 Wd の高温 C_P を再決定する必要性が生じていた。そこで、本研究では、Mg_2SiO_4 Wd について DSC 法による高温熱容量測定を行った。また、実測された C_P を適用して熱弾性パラメータの再評価を行い、格子振動モデル計算により高温外挿を行った。

熱容量測定用の Mg_2SiO_4 Wd は、学習院大学設置の川井型マルチアンビル高圧発生装置を用いて、出発物質の Mg_2SiO_4 フォルステライトを 15 GPa, 1573 K で 2 時間保持後、急冷回収することにより高圧合成した。回収試料は、微小部 X 線回折測定および顕微ラマン分光測定により Mg_2SiO_4 Wd 単相であることを確認した。高温熱容量測定は、入力補償型の DSC 装置を用いることにより 300－820 K の温度範囲において 10 K の温度間隔かつ 10 K/min のスキャン速度でデータを取得した。なお、DSC 測定には粉末状の Wd 試料を用い、その重量は 16.978 mg であった。

本研究では、0.6%以下の測定精度で高温 C_P が決定された。先行研究の Watanabe (1982) や Ashida et al. (1987) によるデータと比較すると、本研究の測定値は 2－5%大きい。このことから、従来用いられてきた Wd の高温 C_P は、過小評価されていたことが実験的に示された。さらに、デバイの関係式 $\alpha = \gamma_{th}C_V/(K_TV)$ を用いた熱膨張率の計算と、Katsura et al. (2009) による P－V－T データへの Birch－Murnaghan 状態方程式の最小二乗フィットを組み合わせることにより、熱弾性パラメータの最適化を行った。得られた熱弾性パラメータを適用した格子振動モデル計算による C_P は、本研究で測定された高温 C_P データと非常によく一致しており、さらなる高温側への外挿値として妥当であることが示唆される。

References

Ashida et al. (1987) High-pressure research in mineral physics, Terra Scientific Publishing, pp 269-274.

Katsura et al. (2009) Geophys. Res. Lett., 36, L11307.

Kojitani et al. (2012) Am. Mineral., 97, 1314–1319.

Watanabe (1982) High-pressure research in geophysics, Center for Academic Publications, pp 441-464.

Keywords: wadsleyite, heat capacity, DSC, themoelastic parameter, lattice vibrational model calculation

*Corresponding author: hiroshi.kojitani@gakushuin.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高温高圧下における Fe_5O_6 と Fe_4O_5 の安定性

彦坂晃太郎(東大), 新名良介 (東大/明治大), 廣瀬敬 (東大/東工大), 石井貴之 (BGI), 大石泰生(JASRI)

The stability of Fe_5O_6 and Fe_4O_5 at high pressure and temperature

Koutaro Hikosaka* (U. Tokyo), Ryosuke Sinmyo (U. Tokyo/Meiji U.), Kei Hirose (U. Tokyo/Tokyo Tech.), Takayuki Ishii (BGI), Yasuo Ohishi (JASRI)

The oxygen fugacity in the interior of the Earth is largely controlled by iron-bearing minerals. Recent studies have reported a variety of iron oxides with chemical compositions between FeO and Fe_3O_4 above ~10 GPa. However, the stabilities of these high-pressure iron oxides remain mostly uninvestigated. In this study, we performed in-situ X-ray diffraction (XRD) measurements in a laser-heated diamond-anvil cell (DAC) to determine the phase relations in both Fe_5O_6 and Fe_4O_5 bulk compositions to 61 GPa and to 2720 K. The results show that Fe_5O_6 is a high-temperature phase stable above 1600 K and ~10 GPa, while FeO + Fe_4O_5 are formed at relatively low temperatures. We observed the decomposition of Fe_5O_6 into 2FeO + Fe_3O_4 above 38 GPa and the decomposition of Fe_4O_5 into FeO + h-Fe_3O_4 at a similar pressure range. The coexistence of FeO and Fe_3O_4 indicates that none of the recently discovered compounds between FeO and Fe_3O_4 (i.e., Fe_5O_6, Fe_9O_{11}, Fe_4O_5, and Fe_7O_9) are formed beyond ~40 GPa at 1800 K, corresponding to conditions in the shallow lower mantle. Additionally, as some superdeep diamonds have genetic links with these high-pressure iron oxides, our results give constraints on pressure and temperature conditions of their formation.

Key words: iron oxide, diamond-anvil cell, high pressure, Fe_4O_5, Fe_5O_6

***Corresponding author. (E-mail: hikosaka@g.ecc.u-tokyo.ac.jp)**

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

クロムスピネルを含むケイ酸塩鉱物系の高圧相関係

[1]吉田和存, [1]糀谷浩, [1]赤荻正樹* ([1]学習院大理)

High-pressure phase relations in chromite spinel-bearing systems

[1]Kazuaki Yoshida, [1]Hiroshi Kojitani, [1]Masaki Akaogi*
([1]Fac. Sci., Gakushuin Univ.)

クロミタイトは Cr-spinel(Ch)と olivine(Ol)を主要構成鉱物とする岩石である。その中で、diopside(Di)の離溶組織や diamond を含む Ch を持つ“超高圧クロミタイト”はマントル深部を循環したと考えられ、その成因が広く議論されている。しかし、その基礎となる高圧相関係の研究はまだ十分にされていない。本研究では、Ch と Ol の主成分系である $MgCr_2O_4$- Mg_2SiO_4 系と、Di-Ch の主成分系である $CaMgSi_2O_6$-$MgCr_2O_4$ 系の高圧相関係を詳細に明らかにし、超高圧クロミタイトが経験した圧力条件を考察した。

マルチアンビル装置を用い、これらの系の 28GPa まで 1200~1600℃での相平衡実験を行い、回収試料の微小領域 X 線回折データと組成分析により相関係を決定した。

$MgCr_2O_4$-Mg_2SiO_4 系では、1600℃と 1400℃（図 1）のどちらの温度でも、約 13GPa 以上では Ol と Ch が反応し、wadsleyite(Wd)、anhydrous phase B (Anh-B)、modified ludwigite (mLd)、garnet(Gt)のいずれかを含む 2～3 相に変化し、20-23GPa で ringwoodite (Rw) + calcium titanate (CT)が安定になり、25-26GPa 以上で bridgmanite (Brg) + periclase (Pe) + CT が安定になった。各相の分析値からマスバランス計算により鉱物量比を求め、密度を計算し、圧力による相組合せの変化と共に密度が増加することを確認した。

$CaMgSi_2O_6$-$MgCr_2O_4$ 系では、Ch と Gt が約 10GPa 以上で六方晶(NAL)相(Hp)を生成し、圧力増加と共に Hp と共存する相が変化し、26GPa 以上では $CaSiO_3$ perovskite (CaPv)と CT を含む相組合せになることが示された。また、10GPa 以下では Gt と共存する Ch に Ca が含まれないことが示された。

超高圧クロミタイトには、Ch と Ol が反応して形成される相や Hp 相が見い出されていないことから、超高圧クロミタイトが経験した圧力は最大でも 10～13GPa であり、上部マントル内の圧力条件下で循環したと推定される。

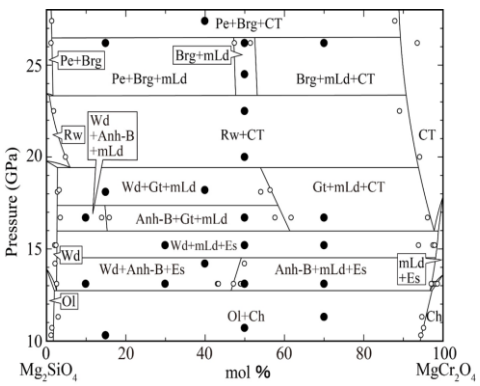


図 1. $MgCr_2O_4$-Mg_2SiO_4 系の相図(1400℃)

Keywords: high-pressure, UHP-chromitite

*Correspond. author: masaki.akaogi@gakushuin.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

δ-(Al,Fe)OOH 単結晶の高圧合成

川添貴章*、大平格、石井貴之、鈴木昭夫、大谷栄治

（広大・理、バイロイト大・BGI、東北大・理、カーネギー研究所）

Single crystal synthesis of δ-(Al,Fe)OOH

Takaaki Kawazoe*, Itaru Ohira, Takayuki Ishii, Akio Suzuki, Eiji Ohtani
(Hiroshima Univ., Univ. Bayreuth BGI, Tohoku Univ., Carnegie Institution of Washington)

<はじめに>

δ-(Al,Fe)OOH は、地球深部における水循環を解明する上で重要な相である。この相は ~17 wt%もの水を含み、マントル最下部まで水をもたらす可能性がある。このため、この相の物性を明らかにする必要がある。

大型単結晶は、精密加工により試料の形状・結晶方位を制御し、様々な物性が測定されている。近年では、ダイヤモンドアンビルセル（DAC）を用いた高圧実験の出発物質として活用されている [1]。

これらのため、本研究では δ-(Al,Fe)OOH 大型単結晶の高圧合成に取り組んだ [2]。

<実験方法>

出発物質には $Al(OH)_3$ 試薬粉末もしくは $Al(OH)_3$ と Fe_2O_3 の混合粉末を用いた。出発物質は $Au_{80}Pd_{20}$ カプセルに封入した。

高圧合成実験は、川井型マルチアンビル装置を用いて行った。実験圧力・温度は 21 GPa、1470 K であり、4 h 保持し急冷した。

回収試料は、偏光顕微鏡、単結晶 X 線回折装置、電子プローブマイクロアナライザーを用いて分析した。

<結果と議論>

δ-AlOOH・δ-(Al,Fe)OOH 大型単結晶の合成に成功した（図 1）。単結晶の大きさは、0.4-0.6 mm 以下であった。δ-(Al,Fe)OOH の Fe/(Al+Fe)は、0.0469(8)と 0.122(3)であった。

合成した δ-(Al,Fe)OOH は、DAC を用いた圧縮挙動とスピン状態の研究に活用している（Ohira et al. *Am Mineral* 印刷中）。

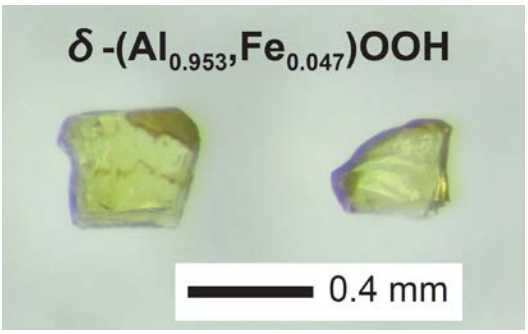


図 1。δ-$(Al_{0.953},Fe_{0.047})$OOH 大型単結晶の写真。

[1] J Buchen et al. (2018), *EPSL* 498, 77-87.

[2] T Kawazoe et al. (2017), *Am Mineral* 102, 1953-1956.

Keywords: δ-AlOOH, δ-(Al,Fe)OOH, water, single crystal, multi-anvil apparatus

*Corresponding author: kawazoe@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高温高圧下における無水斜方輝石の転位クリープ

坪川祐美子[1]・大内智博[1]・肥後祐司[2]・
丹下慶範[2]・入舩徹男[1] ([1]愛媛大・GRC、[2]JASRI)

Dislocation creep of dry orthopyroxene aggregates under high P-T conditions

Yumiko Tsubokawa[*1]・Tomohiro Ohuchi[1]・Yuji Higo[2]・
Yoshinori Tange[2]・Tetsuo Irifune[1] ([1]Ehime Univ.・[2]JASRI)

地球においてプレートテクトニクスが起きるために必要なプレートの理論強度は 150 MPa 以下と考えられているが[1]、プレートの最主要鉱物であるカンラン石の強度は 500-600 MPa 程度と強すぎる[2]。つまり地球では何らかの理由においてプレート強度が「弱化」している必要がある。

斜方輝石はプレートで 2 番目に多い鉱物であり、カンラン石より低い強度を持ちうることが実験的に指摘されている[3]。しかしながらこれは単結晶試料を用いた最も容易なすべり系による評価であり、天然のような多数のすべり系が競合した中での強度検討を行うことは重要である。そこで本研究では、多結晶の斜方輝石を用いた変形実験から、プレート強度の「弱化」に及ぼす斜方輝石の影響を評価することを試みた。

本研究では、沈み込むプレート内の条件下 (圧力 1.4-6.8 GPa、温度 1273-1473 K) における無水の斜方輝石多結晶体のその場観察一軸圧縮実験を行った。出発物質は川井型マルチアンビル高圧発生装置を用いて焼結した。回収試料は雰囲気炉で加熱処理することで、溶存する水の除去を行った。変形実験には SPring-8 の BL04B1 に設置の D-DIA 型変形装置 (SPEED-Mk.Ⅱ) を用いた。変形中の試料歪および差応力の決定は、X 線ラジオグラフィーおよび二次元 X 線回折パターンをそれぞれ用いて行った。変形後の回収試料については TEM による転位の組織観察を行った。

実験で得られた応力−歪曲線から、各実験において試料歪が 4%以上で定常クリープ領域 (応力 200-1200 MPa) に至ることを確認した。この定常クリープ状態において、斜方輝石の転位クリープの流動則の応力指数は $n \approx 2.8$ となった。また活性化エネルギー (Q) および活性化体積 (V^*) はそれぞれ~180 kJ/mol と~11 cm^3/mol が求められた。得られた応力指数の値および回収試料中に多数存在する転位から、斜方輝石多結晶体では転位クリープによる変形が進行したと考えられる。試料中には少なくとも (100) 面および (010) 面の 2 つのすべり面が観察され、転位のバーガースベクトルは [001] または [0kl] であることが分かった。これらの結果は全て、斜方輝石で報告されている 2 つの主要なすべり系 ((100)[001]および(010)[001]) による変形と調和的である。

本研究で得られた無水斜方輝石の転位クリープ強度は、沈み込むプレートに対応する温度圧力条件において無水カンラン石のもの[4]より顕著に低い値であった。また本実験結果を用いて沈み込むプレートの強度 (約 30 %の斜方輝石が存在すると仮定した場合) を推察すると、その強度は 150 MPa 以下となりうることが明らかになった。以上のことより、無水斜方輝石の転位クリープが地球型惑星におけるプレートテクトニクスの可否を決定づけているものと考えられる。

[1] Richards et al. (2001) Geochem. Geophys. Geosyst., 2, 2000G000115.
[2] Hirth and Kohlstedt (1995) J. Geophys. Res., 100 (B8), 15441–15449.
[3] Ohuchi et al. (2011) Contrib. Mineral. Petrol., 161, 961–975.
[4] Karato and Jung (2003) Philos. Mag., 83, 401–414.

Keywords: Orthopyroxene, Deformation experiment, Dislocation creep, Upper mantle

*Corresponding author: tsubokawa@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Oral presentation | R1: Characterization and description of minerals

Sun. Sep 22, 2019 2:00 PM - 3:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 5:00 AM - 6:00 AM UTC | Lecture Ia Lecture

R1: Characterization and description of minerals

Chairperson:Ysuyuki Banno

[座長]
坂野 靖行：R1-10〜R1-13

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

[R1-10] Sauconite and fraipontite from Kiura mine, Oita Prefecture, Japan

*Hiroki Ide[1], Siichiro Uehara[1], Yohei Shirose[2] (1. Kyushu Univ., Fac. Sci., Dept. Earth & Planet Sci., 2. Kyoto Univ., Mus.)

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

[R1-11] A re-examination on kobeite-(Y) for the redefinition

*Ritsuro Miyawaki[1], Toshiaki Shimura[2], Koichi Momma[1], Satoshi Matsubara[1], Akira Kato[1] (1. National Museum of Nature and Science, 2. Yamaguchi Univ.)

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

[R1-12] Texture analyses of pyrrhotite pseudomorphs from Hakurei site, Okinawa

*Toshiro Nagase[1], Tatsuo Nozaki[2], Yutaro Takaya[3], Jun-ichiro Ishibashi[4], Hidenori Kumagai[2], Leina Maeda[2] (1. Tohoku Uni. Museum, 2. JAMSTEC, 3. Waseda Univ., 4. Kyusyu Univ.)

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

[R1-13] Nevadaite from Ishidera, Wazuka, Kyoto Prefecture, Japan

*Yohei Shirose[1], Satomi Enju[3], Kenji Tsuruta[4], Norimasa Shimobayashi[2] (1. Kyoto Uni. Mus., 2. Kyoto Uni. Sci., 3. Ritsumeikan Uni., 4. Kyoto City Univ. Arts.)

大分県木浦鉱山産ソーコナイト及びフライポンタイト

井手大生・上原誠一郎(九大・理・地惑)・白勢洋平(京大・博物館)

Sauconite and fraipontite from Kiura mine, Oita Prefecture, Japan

Hiroki Ide*, Seiichiro Uehara (Dept. Earth & Planet Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.),
Yohei Shirose (Mus., Kyoto Univ.)

1. はじめに　米国ペンシルベニア州のソーコンバレーからサポナイトの亜鉛置換体であるソーコナイト[$Na_{0.3}Zn_3(Si, Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot 2H_2O$]が報告(Ross, 1946)されて以降，亜鉛粘土鉱物の報告例は非常に少ない(Steinberg *et al.*, 1985 など)。最近，Boni *et al.*(2009)はAccha 亜鉛鉱床からソーコナイトを，Choulet *et al.*(2016)は Bou Arhous 亜鉛鉱床からソーコナイト，フライポンタイト[$(Zn_{3-x}Al_x)(Si_{2-x}Al_x)O_5(OH)_4$]を報告した。フライポンタイトはアメス石[$Mg_2Al(SiAl)O_5(OH)_4$]の亜鉛置換体であると考えられる(e.g., Fransolet & Bourguignon, 1975)。今回，大分県木浦鉱山からソーコナイトとフライポンタイトを確認したので，それらの産状，組織，化学組成，X 線回折パターンなどの鉱物学的特徴を報告する。

2. 実験手法　全岩と定方位試料の X 線回折分析はリガク Ultima IV，不定方位試料の分析は RINT RAPID IIを用いた。化学組成分析，微細組織観察は Oxford Ins.製 EDS を装着した JEOL JSM-7001F を用いた。

3. 結果　X 線回折実験の結果，ソーコナイトを含む粘土の定方位試料は 15.0 Å，7.3 Å，4.8 Å，3.6 Å の反射を示し，EG 処理を行ったところ，17.7 Å，8.2 Å，7.2 Å の反射を示し，スメクタイトの他に，カオリン-蛇紋石グループに特徴的なピークを示した。また，060 = 1.54 Å を示し，3 八面体型層状珪酸塩の特徴を示した。

SEM 観察の結果，粘土部は粗粒部(粒径 1-3 μm)と細粒部(1 μm以下)からなる縞状組織が発達している。細粒部はソーコナイトの組成を示し，粗粒部ではソーコナイト，サポナイト，鉄サポナイト，アメス石，フライポンタイトの粒子が密に共生している。SEM-EDS による化学分析の結果，本産地のソーコナイトは Zn，Mg，Fe 置換が顕著に見られ，$(Ca_{0.17}K_{0.01})_{0.18}(Zn_{2.44}Fe_{0.32}Al_{0.25}Mg_{0.10}Ti_{0.03})_{3.14}(Si_{3.07}Al_{0.93})_{4.00}O_{10}(OH)_2 \cdot 2H_2O$ から $(Ca_{0.07}K_{0.06})_{0.13}(Zn_{1.00}Mg_{0.89}Fe_{0.83}Al_{0.47}Ti_{0.04})_{3.24}(Si_{2.74}Al_{1.26})_{4.00}O_{10}(OH)_2 \cdot 2H_2O$ の組成の幅を持つ。フライポンタイトの平均化学組成は$(Ca_{0.05}K_{0.01})_{0.06}(Zn_{0.86}Mg_{0.76}Fe_{0.62}Al_{0.59}Ti_{0.03})_{2.86}(Si_{1.57}Al_{0.43})_{2.00}O_5(OH)_4$ であり，Mg，Fe を多く含む。

浅成鉱床の酸化帯に含まれる亜鉛粘土鉱物は複雑な鉱物組み合わせ，産状があり，今後，さらに他の鉱床についても詳細な検討が必要である。

Keywords: sauconite, fraipontite, saponite, Kiura mine
*Corresponding author: ide.hiroki.506@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

河辺石の再定義に向けた再検討

宮脇 律郎*(国立科博)・志村 俊昭(山口大・創成科学)・門馬 綱一(国立科博)・
松原 聰(国立科博)・加藤 昭(国立科博)

A re-examination on kobeite-(Y) for the redefinition

Ritsuro Miyawaki*(NMNS**), Toshiaki Shimura (Yamaguchi Univ.), Koichi Momma (**NMNS**),
Satoshi Matsubara(**NMNS**) and Akira Kato(**NMNS**)**

Kobeite-(Y) was re-examined with a specimen from the type locality, Kobe, Kyoto, Japan. DTA/TG curves revealed 4 steps of weight loss of dehydrations. The metamictized kobeite-(Y) crystallized into a cubic phase showing a pyroclore-type structure at 650°C. The cubic phase transited into another phase of trigonal zirconolite-3*T* type structure at 775°C. The morphology of kobeite-(Y) indicates the pre-metamict original crystal structure is trigonal. Zirconium was confirmed as an essential constituent in kobeite-(Y) by means of EMP. Kobeite-(Y) should be redefined as $YZr(TiFe^{3+})O_7$, the Y-analogue of zirconolite, $CaZrTi_2O_7$.

河辺石[kobeite-(Y)]は田久保ら(1950)により京都府中郡河辺村(現在、京丹後市大宮町河辺)白石からイットリウムとチタンを主成分としウランとニオブ、タンタル、鉄などを含有するユークセン石・ポリクレース類縁の新種 $(Y,U)(Ti,Nb)_2(O,OH)_6$ として記載された。後年、化学組成の再分析によりジルコニウムが必須元素であることが指摘されたが、再定義には至っていない。河辺石は柱状の双晶とその平行連晶の集合体として産し、自形の結晶面を持つが、メタミクト化が進みX線回折は観測されないため、結晶構造のみならず晶系、格子定数が未だ不明である。加藤(1989)は、既報の焼成再結晶化実験結果の精査から、河辺石はジルコノ石の三方晶系ポリタイプの希土類元素置換体に相当すると指摘した。近年、ジルコノ石の直方晶系ポリタイプ(藤井・上原, 2011:福本・皆川, 2012)や類縁鉱物(志村ら, 2018)の報告もあり、河辺石の再定義に向けて、原記載産地の標本を用いた化学組成と加熱処理再結晶化による結晶データの測定を行った。

原記載産地産標本から NSM-M32642(櫻井標本)を選抜し、暗褐色の河辺石柱状連晶を母岩の灰肉色の長石(微斜長石・曹長石)から分離し、電子線マイクロプローブ(EMP)による化学組成定量、示差熱分析、粉末X線回折実験を行った。

示差熱分析は、室温から 4 段階の重量減少を示し、その減量は、吸着水や、メタミクト化に伴う水和反応で生じた水酸化物イオンなどの脱水反応によるものと考えられる。650°C まで加熱すると、面間隔 2.90 Å の回折線が現れ、750°C まで加熱した試料のX線回折パターンは、パイロクロア石の回折パターンに良く合致し、5 本の回折線から a = 10.0662(6) Å の立方晶格子定数が得られた。1150°C まで加熱した試料の回折線の多くはジルコノ石の三方晶系ポリタイプの回折パターンに合致し、精密化した格子定数は、a = 7.25427(12), c = 16.7986(4) Å である。

河辺石の結晶の外形は、立方晶系ではなく三方晶系に整合することから、河辺石の原構造は、立方晶のパイロクロア石型ではなく、三方晶ジルコノ石型と結論される。従って河辺石は、ジルコノ石 $[(Ca,Y)Zr(Ti,Mg,Al)_2O_7]$の希土類置換体 $[(Y,Ca)Zr(Ti,Fe^{3+})_2O_7$、理想式は $YZr(TiFe^{3+})O_7]$と再定義されるべきである。

Keywords: kobeite-(Y), zirconium, zirconolite
*Corresponding author: miyawaki@kahaku.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

沖縄HAKUREIサイトの磁硫鉄鉱仮像組織の解析

長瀬敏郎(東北大・総博)，野崎達生(海洋機構)，高谷雄太郎(早大・創造理工)，石橋純一郎(九大・理)，熊谷英憲・前田怜奈(海洋機構)

Texture analyses of pyrrhotite pseudomorphs from Hakurei site, Okinawa

T. Nagase* (Tohoku Univ.), T. Nozaki (JAMSTEC), Y. Takaya (Waseda Univ.), J.-i. Ishibashi (Kyusyu Univ.), H. Kumagai and L. Maeda (JAMSTEC)

【はじめに】

磁硫鉄鉱が黄鉄鉱や白鉄鉱に交代された仮像は天然の鉱石中にしばしば観察され，これまでに多くの研究が行われてきた (例えば, Einaudi, 1971; Fleet, 1978; Ramdohr, 1980)。磁硫鉄鉱の仮像組織の多様性の原因については再現実験により確かめられ (Murowchich, 1992; Qian *et al*., 2011)，溶液の性質によって形成組織が異なることが示唆されている。

SIP沖縄トラフ熱水性堆積物掘削Ⅲ (CK16-05航海，Exp. 909) において，中部沖縄トラフ伊是名海穴HAKUREIサイトでの地球深部探査船「ちきゅう」による掘削が行われた。得られたコア試料中には磁硫鉄鉱が黄鉄鉱・白鉄鉱により交代された仮像が多く認められ，鉱石の主体部をなす。海底熱水鉱床ならびに黒鉱鉱床の形成過程において鉱物の交代作用は重要な役割を果たしていると考えられている。今回，磁硫鉄鉱の仮像組織について解析を行い，この鉱床での仮像の形成過程について考察する。

【試料ならびに観察方法】

観察試料には，伊是名海穴HAKUREIサイト (Sites C9025 - C9032) の掘削コア試料を用い，光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡 (SEM, JEOL JEM-7001) により鉱物組織を観察した。結晶方位解析には，SEMに付随した電子線後方散乱回折装置 (OXFORD, AZtec EBSD system) を用いた。

【結果ならびに考察】

HAKUREIサイトの鉱石は黄鉄鉱，白鉄鉱，閃亜鉛鉱，方鉛鉱，黄銅鉱を主体とし磁硫鉄鉱，アイソキューバ鉱，ウルツ鉱，硫砒銅鉱，重晶石，硬石膏，硫酸鉛鉱などを伴う。鉱石はその様相から黒鉱質，黄鉱質そして黄鉄鉱・白鉄鉱鉱石の3つのタイプに分類される。黄鉄鉱・白鉄鉱鉱石は多孔質な構造をもち，磁硫鉄鉱の仮像が普遍的に認められる。磁硫鉄鉱仮像組織の特徴としては，1) 黄鉄鉱が包晶することで型取りされ，結晶中心部が溶脱した“ヌケガラ”のタイプや，2) 黄鉄鉱が包晶し，結晶内部も黄鉄鉱結晶で埋められたもの，3) 磁硫鉄鉱の形態をそのままに内部が細粒な白鉄鉱により交代されたもの。などいくつかのタイプがある。磁硫鉄鉱と白鉄鉱にはトポタキシーの関係が確認され，両者の結晶学的関係はこれまで報告されているものと一致する。

これらの観察結果からHAKUREIサイトの鉱石は，最初温度300度以上の高温で低い硫黄フュガシティーの熱水溶液で鉱化し，磁硫鉄鉱が沈殿した。その後，より温度が低く，強酸性・高硫化の溶液によって交代作用を受けた。この際，この溶液を媒介した相変化により黄鉄鉱や白鉄鉱が生じ，磁硫鉄鉱の仮像が形成されたと考えられる。

Keywords: Pyrrhotite, Pseudomorph, Pyrite, Marcasite, Hakurei site
*Corresponding author: nagase@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

京都府和束町石寺産ネバダ石

白勢洋平（京大・博物館）・延寿里美（立命館大）・鶴田憲次（京都芸大）・
下林典正（京大・院理）

Nevadaite from Ishidera, Wazuka, Kyoto Prefecture, Japan

Yohei Shirose* (Univ. Mus., Kyoto Univ.), Satomi Enju (Ritsumeikan Univ.),
Kenji Tsuruta (Kyoto City Univ. Arts.), and Norimasa Shimobayashi (Grad. Sch., Kyoto Univ.)

ネバダ石（Nevadaite）は, Cooper et al. (2004) により米国ネバダ州 Gold Quarry 鉱山から初めて報告された二次燐酸塩鉱物であり, $(Cu^{2+},□,Al,V^{3+})_6[Al_8(PO_4)_8F_8](OH)_2 \cdot 22H_2O$ の理想化学組成が提唱された。その後は，キルギス共和国 Kara-Chagyr 地域からの産出が報告されたのみの極めて希産な鉱物である（Karpenko et al., 2009）。いずれの産地でもバナジウム鉱物を伴う。本研究では，京都府和束町石寺に分布する変堆積岩を貫く石英脈中から世界で三番目となるネバダ石を見出したので，その鉱物学的特徴を報告する。

石寺地域の石英脈からは，灰重石，燐灰石の変質により形成された多様なタングステン酸塩，燐酸塩鉱物が産する（鶴田ら, 2008 ; Shimobayashi et al., 2012 ; 白勢ら，2018）。ネバダ石は燐灰石の変質部の空洞中に, 無色の不明鉱物, 単斜燐鉄鉱, ストレング石, 石膏, 白雲母を伴い産出する。ネバダ石は水色の直径 0.1 mm 程度の球-膜状の集合である。SEM 観察の結果，厚さ 1 μm 以下、幅 10 μm 以下の微細な伸長した板状結晶が放射状に集合していることがわかった（Fig. 1）。

XRD 実験の結果, 石寺産ネバダ石は PDF# 01-073-7360 とよく一致し，直方晶系で指数付けすると, 格子定数は他産地のものよりやや大きく，a = 12.152(4) Å，b = 19.068(7) Å，c = 4.964(2) Å，V = 1150.1(5) Å^3 となった。

EPMA を用いた化学分析の結果, 明瞭な組成変化はなく，$(Cu_{3.06}□_{2.94})_{\Sigma 6.00}Al_{7.96}(PO_4)_{4.00}[PO_3(OH)]_{4.00}[F_{4.95}(OH)_{3.05})]_{\Sigma 8.00}(OH)_2 \cdot 16.41(H_2O)$の平均値で表すことができた。これまでの報告例と異なり, バナジウムが一切含まれず，六配位の M 席の三価の陽イオンを二価の銅が置き換えていると考えられる。M 席に入る元素ついては，$^{M1}(Cu^{2+},□)_2{}^{M2}(□,Cu^{2+},V^{3+})_2{}^{M3}(Al,V^{3+},Cu^{2+})_2$ と考えられ，$^{M}(Cu^{2+}{}_2□_2Al_2)$ といった端成分が提唱されていた（Cooper et al., 2004）。しかしながら，本産地のネバダ石では $Cu^{2+}{}_2□_2(Cu,□)$となるため，理想化学式 $(Cu_3□_3)Al_8(PO_4)_4[PO_3(OH)]_4[F,(OH)]_8(OH)_2 \cdot n(H_2O)$の，ネバダ石の Cu 置換体と考えることもできる。今後結晶構造についてより詳細な検討が必要である。

共生する無色の不明燐酸塩鉱物もフッ素に富んでおり, これらの二次鉱物はフッ素燐灰石が分解し, アルミニウムに富む溶液と反応して形成されたと考えられる。この産地から報告されたエムプロロ石 $[WAlO_3(OH)_3 \cdot 2H_2O]$などの他の希少鉱物も、同様の形成環境にあったと考えられ、石寺地域の熱水変質反応を特徴づけるものである。

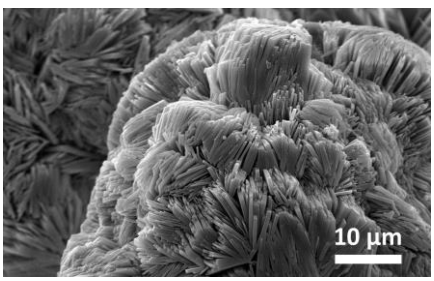


Fig. 1 Secondary electron image of spherical aggregates of platy nevadaite from Ishidera.

Keywords: Nevadaite, phosphate, unknown mineral, hydrothermal alteration, Ishidera

*Corresponding author: shirose.yohei.6n@kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Oral presentation | R3: High-pressure science and deep Earth's material

Sun. Sep 22, 2019 2:00 PM - 3:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 5:00 AM - 6:00 AM UTC | Lecture Ib Lecture

R3: High-pressure science and deep Earth's material

Chairperson:Ryosuke Shinmyo

[座長]
新名 良介：R3-10〜R3-13

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

[R3-10] Olivine-spinel transformation under shear deformation: Conditions for transformation-induced weakening

*Kubo Tomoaki[1], Kazuya Moriyama[1], Yuichiro Mori[1], Masahiro Imamura[1], Sanae Koizumi[2], Yu Nishihara[3], Akio Suzki[4], Yuji Higo[5], Yoshinori Tange[5] (1. Kyushu Univ., Sci, 2. Tokyo Univ., ERI, 3. Ehime Univ., GRC, 4. Tohoku Univ., Sci, 5. JASRI)

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

[R3-11] UHP pseudotachylyte and nanodiamond

*Tadao NISHIYAMA[1], Kouhei Unoki[1], Ukyo Nishi[1], Tomoya Fujimoto[1], Akira Yoshiasa[1], Hiroaki Ohfuji[2], Masami Terauchi[3] (1. Faculty of Advanced Science and Technology, Kumamoto University, 2. Geodynamics Reserach Center, Ehime University, 3. Institue of Multidisciplinary Reserach for Advanced Materials)

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

[R3-12] Mineralogical characteristics of nano-polycrystalline diamond in pseudotachylyte from Nishisonogi metamorphic rock

*Hiroaki Ohfuji[1], Tadao Nishiyama[2] (1. GRC, Ehime Univ., 2. Kumamoto Univ., Sci)

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

[R3-13] Characteristics and problems of quantitative chemical analysis in ATEM part 2

*Kiyoshi Fujino[1], Hiroaki Ohfuji[1] (1. GRC, Ehime Univ.)

R3-10

せん断変形場におけるオリビン–スピネル相転移：相転移誘起の軟化条件の探索

久保友明*, 森山一哉, 森悠一郎, 今村公裕(九大理), 小泉早苗(東大地震研), 西原遊(愛媛大 GRC),
鈴木昭夫(東北大理), 肥後祐司, 丹下慶範(JASRI)

Olivine-spinel transformation under shear deformation: Conditions for transformation-induced weakening

T. KUBO, K. Moriyama, Y. Mori, M. Imamura (Kyushu Univ.), S. Koizumi (ERI), Y. Nishihara (GRC),
A. Suzuki (Tohoku Univ.), Y. Higo, Y. Tange (JASRI)

1. はじめに

近年、D-DIA 型および D-111 型高圧変形装置の開発により、マントル遷移層から下部マントル最上部条件における定量的な変形実験が可能になった。我々は、それらの高圧変形装置に放射光単色 X 線および AE 測定を組み合わせて、オリビン–スピネル非平衡相転移が誘起する軟化やせん断不安定化プロセスの解明に取り組んでいる。それは沈み込んだ深部プレート(遷移層スラブ)の力学特性、特に上下マントル境界付近での滞留や深発地震を理解する上で重要なプロセスであると考えている。本発表では、せん断変形場で行っている Fe_2SiO_4 および Mg_2SiO_4 のオリビン–スピネル相転移実験の結果を報告し、相転移が誘起する軟化現象に関して予備的な考察を行う。

2. 実験方法

出発物質として Fe_2SiO_4 fayalite および Mg_2SiO_4 forsterite 焼結多結晶体を用いて、前者は SPring-8 の BL04B1 設置の D-DIA 型装置に MA6-6 型セルを、後者は PF-AR の NE7A 設置の D-111 型装置に KAWAI 型セルを組み込んで、高圧せん断変形場でオリビン–スピネル相転移実験を行っている。厚さ 300 μm の出発物質の上下に 45°カットしたアルミナピストンを配置しせん断変形場を実現する。常温加圧後にまずオリビンの安定領域において焼きなましを行い、その後、相転移が起こらない低温下においてスピネル相安定領域まで加圧する。そこで上下アンビル変位速度(200-400 μm/h)と昇温速度(0.1-0.2 K/s)を一定にして、変形しながら昇温を開始する。50-60keV の放射光単色 X 線を用いて約 4-5 分毎に 2 次元 X 線回折パターンと X 線ラジオグラフィー像を取得し、せん断変形場での相転移の進行と応力–ひずみ曲線の同時測定を行う。このようにして、変形速度、反応速度(昇温速度)、過剰圧による相転移組織変化などをパラメータに、相転移誘起の軟化が起こる条件を探索している。せん断不安定化に着目した同様の実験は、一軸圧縮変形場で AE 測定を組み合わせて行っている(本年会、森他)。

3. 結果と考察

過剰圧が大きいほど相転移開始温度は低下し、Fe_2SiO_4 では 8-12GPa, 500-700°C 付近で、Mg_2SiO_4 では 17-22GPa, 900-1000°C 付近で、スピネル相(それぞれ ahrensite および ringwoodite)の出現が確認された。せん断ひずみ速度はそれぞれ 8.7×10^{-5}–7.3×10^{-4} s^{-1} および 2.7×10^{-6}–2.7×10^{-4} s^{-1}、最大せん断ひずみ量はそれぞれ 1.2-2.8 および 0.15-0.25 であり、全体として均質変形が進行した(Fig. 1)。後者ではせん断ピストンに溝加工を施しておらず、それが原因でひずみ量が少ないのかもしれない。アンビル変位速度が一定であってもせん断ひずみ速度は一定ではなく、昇温とともに、また相転移とともに上昇する傾向があり、特に D-111 型装置を用いた Mg_2SiO_4 の実験で顕著である。これが相転移誘起の軟化を示しているのかについてはもう少し検討が必要である。

せん断変形場で相転移が進行する際の応力変化を、オリビン、スピネルそれぞれの相から推定する解析を行っている。まだ予備的な段階ではあるが、特に過剰圧が大きい条件においてスピネル相の応力が小さくなる傾向にある。これは細粒化による軟化を示している可能性があるが、回収試料の変形相転移組織と合わせて検討していく必要がある。

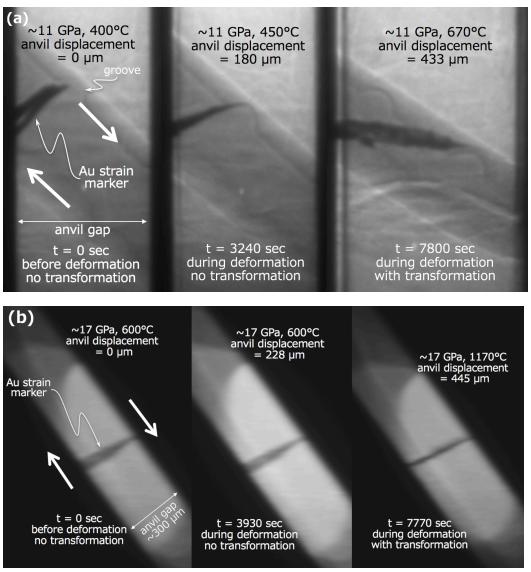


Fig.1. X-ray radiography images showing the rotation of Au stain marker during shear deformation with the olivine-spinel transformation in Fe_2SiO_4 (a, D-DIA) and Mg_2SiO_4 (b, D-111).

Keywords: olivine-spinel transformation, shear, weakening

*corresponding author: kubotomo@geo.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

超高圧シュードタキライトとナノダイヤモンド

西山忠男*, 鵜木康平, 西　右京, 藤本智也, 吉朝朗（熊大理）・
大藤弘明（愛媛大地球深部セ）・寺内正己（東北大多元研）

UHP pseudotachylyte and nanodiamond

Tadao Nishiyama*, Kouhei Unoki, Ukyo Nishi, Tomoya Fujimoto, Akira Yoshiasa (Kumamoto U.),
Hiroaki Ohfuji (Ehime U.) and Masami Terauchi (Touhoku U.)

長崎県西彼杵変成岩（白亜紀低温高圧型変成岩）と熊本県肥後変成岩（白亜紀高温低圧型変成岩）から超高圧シュードタキライトを発見した。また西彼杵変成岩中のシュードタキライトからはナノダイヤモンドが発見された。その鉱物学的詳細については、引き続く大藤氏の講演で紹介する。西彼杵変成岩中のものは、石英炭酸塩岩（蛇紋岩の一部が CO_2 の作用で分解生成した岩石）中に幅 1 cm 程度の黒色脈として発達する。ガラス状光沢を有し、分岐構造を示すが、ガラスは残存せず、微細な石英とマグネサイトの集合体となっている。この中に、径数 10 ミクロン程度の非晶質カーボンが含まれ、その一部にナノダイヤモンド集合体（ラマン分光法、TEM（大藤）、EPMA-SXES 法（寺内）により確認）が産する。ナノダイヤモンド集合体は径 1～2 ミクロンで、矩形を示し、一見単結晶のように見えるが、多結晶集合体であり、一部はロンズデーライトの構造を示す。シュードタキライトは、特徴的な組織（径 1 mm～数 mm の球状のマグネサイトに富む集合体が、石英に富む基質中に散在し、基質には流動したような組織が発達する）を有し、これはこのシュードタキライトが一度融解し、再び再結晶したことを示す。石英とマグネサイトの融解は Kakizawa et al. (2015: JMPS, 110, 179-188)によれば 6 GPa 以上、1600℃以上の条件であり、このシュードタキライトが超高圧条件で形成されたことを示す。

肥後変成岩中のシュードタキライトは、大理岩中に幅 10 cm 程度の黒色脈として産する。分岐構造を示すが、ガラスは残存していない。鏡下では、西彼杵のものと酷似する球状組織が観察される。SEM による観察では、ドロマイトを主とする基質中に、珪酸塩鉱物（石英と Al-Si 粘土鉱物）を主とするドメイン（径数 mm）が球状に発達している。ドロマイトは径 10 ミクロン程度の半自形～他形結晶集合体で、複雑な振動累帯構造を示す。この中には破砕組織を示す石英粒子が含まれ、破砕粒子の粒間をドロマイトが埋めている。この組織は、液相不混和を示す、炭酸塩メルトとケイ酸塩メルトからの結晶化を示唆する。$CaCO_3$ – $MgCO_3$ 系の相図から、融解条件を推定すると、3.5 GPa, 1280℃程度と見積もられる。

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

西彼杵変成岩中のシュードタキライトより見出されたナノ多結晶ダイヤモンドの鉱物学的特徴

大藤 弘明*（愛媛大・GRC），西山 忠男（熊大・理）

Mineralogical characteristics of nano-polycrystalline diamond in pseudotachylyte from Nishisonogi metamorphic rock

Hiroaki Ohfuji* (GRC, Ehime Univ.), Tadao Nishiyama (Sci., Kumamoto Univ)

Here we report the mineralogical characteristics of nano-polycrystalline diamond grains included in quartz-carbonate pseudotachylyte in Nishisonogi metamorphic rock. They were found in carbonaceous aggregate of a few tens of micrometer in quartz and magnesite grains. The diamond grains are 1-2 μm and show angular to pseudo-euhedral shapes surrounded by amorphous carbon. They consist of very well-sintered diamond crystals of <5 - 20 nm and contain no pores. Electron diffraction revealed that they, as a whole, are randomly aggregated but showed weak preferred orientations at local scales in which the coaxial relation of diamond 111 // lonsdaleite 100 was sometimes found.

筆者らは数年前から長崎県に分布する西彼杵変成岩と熊本県の肥後変成岩中に含まれるマイクロダイヤモンドの記載を進めてきた（西山ほか，2014・2017・2018JpGU；大藤ほか，2018 JAMS 年会）．最近，西彼杵変成岩中に含まれる黒色のシュードタキライト中に，これまでの単結晶ダイヤモンドとは全く産状，特徴の異なる多結晶ダイヤモンドを見出したのでここに紹介したい．

多結晶ダイヤモンドを含むシュードタキライトは，蛇紋岩の一部が CO_2 の作用で分解生成したと考えらえる石英炭酸塩岩中に幅1cm 程度の黒色脈として産する．シュードタキライトはマグネサイトと激しく破砕された石英粒子が混在した組織を示すが（詳細は西山氏の講演要旨を参照），両鉱物中には直径数十 μm ほどの炭素濃集部が点在して含まれている．この炭素濃集部には，径 1～2 μm の一見すると単結晶のような角張った形態を示す粒子がしばしば含まれている．これらの粒子を含むように炭素濃集部位から収束イオンビーム（FIB）を用いて薄膜断面を切り出し，TEM でその詳細な微細組織と結晶特性を調べた．

TEM 観察の結果，炭素濃集部位は主にアモルファスカーボンより構成され，その中に点在している角張った粒子は，<5～20 nm ほどの極めて細粒なダイヤモンドの多結晶体であることが明らかとなった（図 1）．このナノダイヤ多結晶体は，グラファイトからの高温高圧下直接変換により合成されるナノ多結晶ダイヤモンドやロシアの隕石衝突孔から産するその天然版試料（Ohfuji et al., 2015）と類似の（より細粒だが）組織を示す．また，一部には層状をなす部分も観察され，制限視野電子線回折では，層構造に垂直な方向にダイヤモンドの 111 とロンズデーライトの 100 の配向（弧状）パターンが観察された．これらの産状は，本試料中のナノ多結晶ダイヤが，グラファイトからの直接変換によって生じたことを示唆すると考えられる．ナノ多結晶ダイヤの成因については現在検討中である．

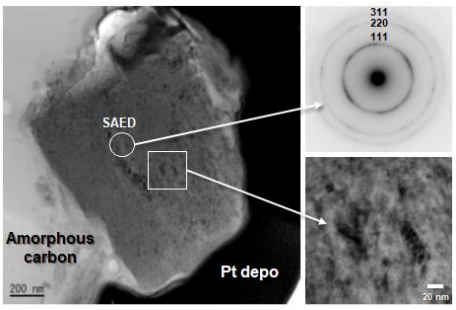


図 1. アモルファスカーボン中に含まれるナノ多結晶ダイヤモンドの TEM 像

Keywords: Nano-polycrystalline diamond; Pseudotachylyte; Microtexture; TEM
*Corresponding author: ohfuji@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

分析透過電顕における化学定量分析の特徴と問題点 その２

藤野清志*，大藤弘明（愛媛大GRC）

Characteristics and problems of quantitative chemical analysis in ATEM part 2

Kiyoshi Fujino*, Hiroaki Ohfuji (GRC, Ehime Univ.)

1. はじめに

最近の走査透過電顕の技術的進展は目覚ましく，従来困難であった電磁レンズの球面収差が可能になり，今や 200 kV 電顕でも～0.1 nm の分解能が可能になってきている．また，化学組成分析面での技術進歩も目覚ましく，今や分析電顕で原子レベルの組成分析も可能になってきている．ただ，それらは電子線の入射方向の原子の重なりを反映したもので，地球惑星物質解析で多くの場合直面する異なった相が共存する基での３次元的な微細粒子や微細組織の組成分析に直結するわけではない．ここでは，地球惑星科学分野で分析透過電顕による化学定量分析法として現在広く用いられているCliff-Lorimerの *k*-ファクターによる解析を取り上げる．

２．*K*-ファクター法の特徴と問題点

K-ファクター法は一見簡便であるが，その問題点はあまり理解されてないように思われる．測定に当たってまず第一に気を付けるべき点は，測定条件が適切かどうかである．図１はパイロープガーネットで照射電流密度 5 pA/cm^2 で，STEM の電子線の走査領域(円)を変えて測定した時の Si に対する各元素の特性Ｘ線強度比のプロットである．図に見るように，X 線強度比は必ずある限界の照射領域(この場合直径約 30 nm)以下で急減する．従って，測定はこの限界以上の電子線照射領域で行わなければならない．この点は，*k*-ファクターの検量線による解析でも吸収法による解析でも変わらない．

前回述べた *k*-ファクターの検量線による解析法では，検量線の傾きは個々の試料におけるＸ線の吸収効果によって変わるため，検量線に用いた試料と未知試料の平均原子番号が近くないと，うまく適用できない．

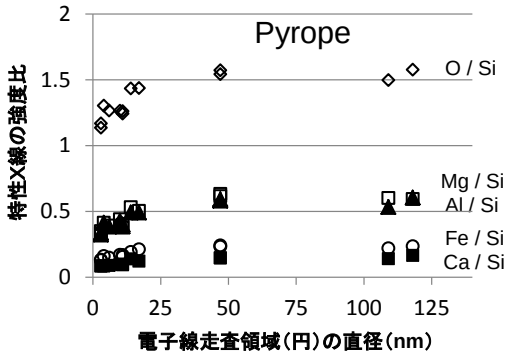


図１．電子線走査領域と特性Ｘ線の強度比

現在 EDS 分析の測定法として，TEM によるスポット分析(スポット径可変)，STEM によるエリア分析及びスポット分析(スポット径固定) があるが，３次元的に微小な空間分解能を得るには，STEM によるエリア分析が最も適していると思われる．

また，定量分析をする薄膜試料の作成法について言えば，ピンポイントの分析には FIB が向いているが，FIB による薄膜作成では薄膜の厚さがほぼ 100 nm に留まってしまうので，それより小さな微細粒子や組織の分析には向かない．イオン研磨では 100 nm より薄い薄膜部分が作成できるので，より小さな領域の分析には，イオン研磨の方が向いている．

講演では，前回触れなかった *k*-ファクターの吸収補正に基づく解析法や，特性Ｘ線測定の際の照射電流密度を下げることで，測定可能な領域の下限がどこまで下げられるかなどについて，議論する予定である．

Keywords: Analytical TEM, quantitative chemical analysis, *k*-factor

*Corresponding author: fujino@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Poster presentation | S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

Sun. Sep 22, 2019 9:30 AM - 3:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 12:30 AM - 6:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

S3: Mineralogy, Petrology and Economic Geology of Northeast Asia (Special Session)

[コアタイム] 12:00〜14：00

[S3P-01] Zircon U-Pb age around the Maana belt, Western Shikoku, SW Japan

*Kenta Kawaguchi[1], Yasutaka Hayasaka[1], Tomoyuki Shibata[1] (1. Hiroshima Uni. Sci.)

[S3P-02] The petrography and zircon U–Pb ages for the Renge metamorphic rocks in Omi area, central Japan

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

[S3P-03] Cristobalite inclusion in garnet in pelitic gneiss from the Hanhohiyn Mountains, northwestern Mongolia.

*Tatsuro Adachi[1], Yasuhito Osanai[1], Nobuhiko Nakano[1], Kundyz Syeryekkhaan[1], Sereenen Jargalan[2], Masaaki Owada[3], M. Satish-Kumar[4] (1. Kyushu Uni. , 2. Mongol. Uni. Sci. Tech., 3. Yamaguchi Uni., 4. Niigata Uni.)

[S3P-04] Pressure–temperature-time conditions of metamorphism of pelitic gneisses in the Gobi-Altai Mountains from southwestern Mongolia.

*Kundyz Syeryekkhaan[1], Y. Osanai[1], N. Nakano[1], T. Adachi[1], S. Jargalan[2], M. Owada[3], M. Satish-Kumar[4], Ch. Boldbaatar[5] (1. Kyushu Univ., 2. Mongolian Univ. Sci. Tech., 3. Yamaguchi Univ., 4. Niigata Univ., 5. Ochir Undraa LLC)

四国西部真穴帯近傍のジルコン U–Pb 年代

川口健太, 早坂康隆, 柴田知之(広島大学・理)

Zircon U-Pb age around the Maana belt, Western Shikoku, SW Japan

Kenta KAWAGUCHI*, Yasutaka HAYASAKA and Tomoyuki SHIBATA (Hiroshima Univ.)

真穴帯は四国西端部にのみ分布する特異な地体で，真穴層とその周囲の蛇紋岩，四国西方沖の大島に分布する大島変成岩が主たる構成要素とされる．真穴帯は御荷鉾帯もしくは秩父累帯の上位にナップで重なると考えられている(1)．近年，真穴層の砕屑性ジルコン年代測定により，その堆積年代は前期白亜紀であることが判明した(2)．また大島変成岩に関しても変花崗閃緑岩から 113 Ma の火成年代が，Grt-Bt 片麻岩から 121 Ma の変成年代が報告されており，これは肥後帯の年代値と極めてよく一致する(3)．このように真穴帯各構成要素の年代と帰属が明らかとなりつつある一方，真穴帯の定置メカニズムに関しては内帯起源説(1, 2)などが提唱されているものの，いまだにその実態は明らかとなっていない．そこで，真穴帯の定置メカニズムを解き明かすことを目的とし，真穴帯周囲の諸地体の複数の地点における LA-ICP-MS ジルコン U-Pb 年代測定を手がけた(図)．その結果，真穴帯南方の花崗岩類 2 試料(MKM-Qd1810，MKM-Gr1811)からはそれぞれ 470.6 ± 3.2 Ma，468.3 ± 2.7 Ma の重み付平均年代が得られた．これは黒瀬川帯の古生代前期深成岩類の年代に一致する．また真穴帯の蛇紋岩に包有される砕屑岩-チャート-緑色岩コンプレックス中の砕屑岩(MKM17042504)の砕屑性ジルコン年代を測定した結果，全てのコンコーダントなデータが石炭紀後期からペルム紀前期の狭い範囲の年代を示し，その堆積年代はペルム紀前期と推定される．この年代は北部秩父帯のペルム系沢谷ユニット，もしくは黒瀬川帯のペルム系に相当すると考えられる．真穴帯と御荷鉾帯との境界部に分布する花崗岩マイロナイトの小岩体(MKM-Gr1818)からは 151.8 ± 1.8 Ma の火成年代が得られた．この年代値は御荷鉾帯の火成年代(4)に近いものの，全岩の微量元素組成が火成弧の特徴を示す点で海洋性の御荷鉾帯の深成岩類とは異なる．110-158 Ma は朝鮮半島から日本列島にかけての火成活動静穏期(5)であることから，大規模な横ずれ運動もしくはナップ運動で遠方よりもたらされた異地性岩体である可能性がある．

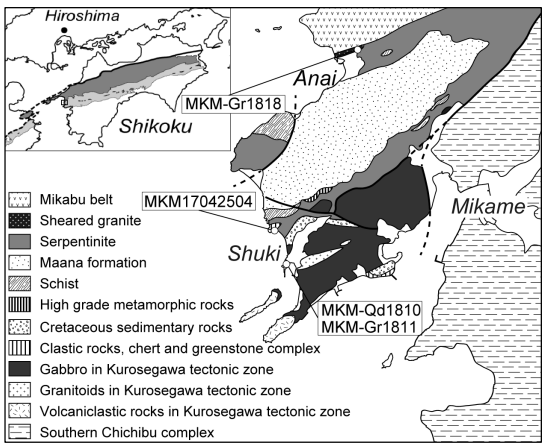


図 四国西端部真穴帯とその周囲の地質図，年代分析試料地点．武田ほか(1993)を改変．

(1)武田ほか(1993) 地質雑, 99, 255-279
(2)中畑ほか(2016) 地学雑誌, 125, 717-745
(3)小山内ほか(2012) 地質学会講演要旨 R4-P-19
(4)Sawada et al. (2019) Journal of Asian Earth Sciences, 169, 228-236
(5)Sagong and Kwon (2005) Tectonics, 24, TC5002

Keywords: Maana belt, zircon U-Pb age, Kurosegawa tectonic zone, Chichibu composite terrane
*Corresponding author: kenta-kawaguchi@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3P-02

青海地域蓮華変成岩類の記載岩石学的特徴とジルコン U-Pb 年代

北野 一平*，小山内 康人，中野 伸彦，足立 達朗（九州大）

The petrography and zircon U–Pb ages for the Renge metamorphic rocks in Omi area, central Japan

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

新潟県西部青海地域は飛騨外縁帯に位置し、高圧型変成岩類をテクトニックブロックとして含む蛇紋岩メランジェが分布している（例えば辻森ほか、2000）。この蛇紋岩メランジェは石炭ーペルム系付加体（青海石灰岩体・姫川石灰岩体）および下部ジュラ系来馬層群と断層で接し、下部白亜系手取層群に不整合に被覆されている（例えば Tsujimori, 2002）。この地域では蓮華変成岩として結晶片岩が卓越して分布し、そのほかに変斑レイ岩、ザクロ石角閃岩、ヒスイ輝石岩、曹長岩などが産する（例えば松本、1980）。この結晶片岩は、Banno (1958)により初めて緑泥石帯および黒雲母帯に変成分帯され、緑泥石帯から藍閃石を含む結晶片岩が報告された。その後、詳細な地質調査、岩石学的解析、K–Ar 法・Ar–Ar 法年代測定が実施された（例えば松本、1980; 辻森、2000; Tsujimori, 2002; 椚座ほか、2002, 2004）。その結果、この地域はエクロジャイト相～青色片岩相片岩分布域のエクロジャイトユニット（EC ユニット）およびそれ以外の non-EC ユニットに区分され、両者の境界は不明瞭であるものの、前者は約 350–340 Ma、後者は約 340–280 Ma の K–Ar・Ar–Ar 年代で特徴づけられ異なる変成年代を示す（例えば Tsujimori, 2002）。しかしながら、両ユニットが一連の地質体として同じテクトニクス場で形成したのかどうかは議論の余地がある（松本ほか、2011）。そこで、本研究では、蓮華変成岩類のジルコン U–Pb 年代に着目し、EC ユニットおよび non-EC ユニット間での岩石記載ー初生・変成ジルコン年代の関連性を検討した。

地質調査は、non-EC ユニットの橋立地域・歌谷地域周辺と EC ユニットの上路地域周辺で行い、結晶片岩類と変斑レイ岩を採取した。そして、橋立地域の砂泥質片岩（80401C: ザクロ石ーゾイサイトー黒雲母ー緑泥石ー白雲母片岩、80402A: ザクロ石ー黒雲母ーアクチノ閃石ー緑泥石ー白雲母片岩）、歌谷地域の変斑レイ岩（804T02: ゾイサイトー変斑レイ岩）および上路地域の結晶片岩類（80501: 緑泥石ー白雲母片岩、80504: 珪質藍閃石ーザクロ石ー緑泥石片岩、805T01A, 805T01G: ザクロ石ー藍閃石ーフェンジャイト片麻岩）からジルコン U–Pb 年代測定を行った。分析試料に関して、non-EC ユニットの結晶片岩には藍閃石は認められないが、EC ユニットの結晶片岩には 1 試料を除いて藍閃石が含まれ、Tsujimori (2002) の区分と調和的な記載岩石学的特徴を持つ。

年代測定の結果は下記の通りである。橋立地域の砂泥質片岩（80401C, 80402A）のジルコンはコアーリム構造の内部組織を示し、コアから 2040–320 Ma の年代が、リムから約 300 Ma のディスコーディア切片年代が得られた。歌谷地域の変斑レイ岩（804T02）に関してはセクター構造をもつジルコンから約 520 Ma の年代値が得られた。一方で、上路地域では、藍閃石を含まない結晶片岩（80501）は橋立地域の砂泥質片岩（80401C、80402A）と類似した砕屑性ジルコン年代（2790–320 Ma）を示すが、藍閃石を含む結晶片岩類（80504, 805T01A, 805T01G）のジルコンはコアで 2360–380 Ma の年代を示し、リムでデータは少なく多少ばらつくものの約 350 Ma の年代を示した。

この結果は、青海地域蓮華変成岩の EC ユニットと non-EC ユニットで、変成条件のみでなく、砕屑ジルコンの後背地および変成時期も異なり、両者の変成作用後に蛇紋岩に取り込まれて隣接した可能性を示唆する。

Keywords: petrography, zircon U–Pb ages, Renge metamorphic rocks, Omi area, central Japan
*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3P-03

モンゴル北西部・ハンホヒン山地に産する泥質片麻岩に含まれるザクロ石中のクリストバライト包有物

足立達朗，小山内康人，中野伸彦，S. Kundyz（九州大），S. Jargalan（モンゴル科技大），大和田正明（山口大），M. Satish-Kumar（新潟大）

Cristobalite inclusion in garnet in pelitic gneiss from the Hanhohiyn Mountains, northwestern Mongolia.

T. Adachi*, Y. Osanai, N. Nakano, S. Kundyz (Kyushu Uni.), S. Jargalan (MUST), M. Owada (Yamaguchi Uni.), M. Satish-Kumar (Niigata Uni.)

Cristobalite inclusions were found in garnet in garnet-sillimanite-biotite gneiss from the Hanhohiyn Mountains, northwestern part of Mongolia. The Hanhohiyn Mountains comprise meta-quartzites, marble, pelitic gneisses (garnet-sillimanite-biotite gneiss, garnet-cordierite-biotite gneiss and garnet-biotite gneiss) intercalating with lenticular garnet-orthopyroxene gneiss and amphibolites, indicating metamorphosed oceanic materials. Garnet in garnet-sillimanite-biotite gneiss shows core-rim texture indicated by different abundance of fine-grained inclusions. Sillimanite is present in the matrix and inclusion-poor rim portion of garnet, it therefore suggests that the rim portion of the garnet coexists with sillimanite and other minerals in the matrix. Metamorphic conditions are estimated as 650-700 °C and 5.5-6 kbar based on the chemical composition of the mineral pairs in the matrix and the rim of garnet, suggesting that this gneiss was affected by peak metamorphism in the upper amphibolite facies. In this gneiss, relict kyanite occurs as inclusion in plagioclase, which indicates that kyanite is prograde product and have experienced decompression. Earlier prograde mineral assemblage is preserved as inclusions in the inclusion-rich core portion of garnet. Fine-grained cristobalite inclusions are found with chlorite, pyrophyllite and quartz in garnet. Cristobalite occurring with minerals stable under low-temperature condition suggests originally (1) detritus grain or (2) opal-CT. In both cases, garnet should grow at a faster rate than transition from cristobalite to quartz. Garnet grains showing sector zoning and/or sieve texture, indicating qualitatively rapid growth, are widely distributed in the mountains. These textures are consistent with preservation of paragenesis of cristobalite and low-temperature minerals in garnet.

Keywords: cristobalite, pelitic gneiss, Hanhohiyn Mountains, Mongolia

*Corresponding author: t-adachi@scs.kyushu-u.ac.jp (T. Adachi)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

S3P-04

Pressure–temperature–time conditions of metamorphism pelitic gneisses in the Gobi-Altai Mountains from southwestern Mongolia.

S. Kundyz*, Y. Osanai, N. Nakano, T. Adachi (Kyushu Univ.), S. Jargalan (Mongolian Univ. Sci. and Tech.), M. Owada (Yamaguchi Univ.), M. Satish-Kumar (Niigata Univ.), Ch.Boldbaatar (Ochir Undraa LLC)

The metamorphic rocks distributed over the Mongolian Altai and Gobi-Altai Mountains in Southwestern Mongolia, are geographically dispersed in the Bulgan, Uyench, Tseel, Tsogt, and Erdene areas from west to east. In this study, we investigate the metamorphic rocks in the Erdene area (Gobi-Altai Mountains) using petrographical, geochemical, and geochronological approaches. Five amphibolite-facies pelitic gneisses containing assemblages of garnet + aluminosilicates were analyzed in this study. Two samples contain sillimanite in the matrix and/or sillimanite inclusions in garnet. We found kyanite from other two samples; one sample contains kyanite in the matrix and another sample contains symplectitic kyanite with staurolite and quartz replacing cordierite. Remaining sample contains andalusite inclusions in garnet rim and in the matrix. Garnet grains from three pelitic gneisses which contain kyanite or andalusite exhibit prograde zoning pattern with decreasing Mn and Ca and increase of Mg and Fe contents from core to rim. Two sillimanite-bearing samples contain garnet grains showing flat pattern for major elements concentrations with Mn-enrichment in the thin rim. Based on the thermobarometric calculations, the *P–T* conditions of two kyanite-bearing samples yielded 6.2–8.2 kbar and 598–668°C, whereas those of two sillimanite-bearing samples are 3.8–8 kbar and 590–740°C. Although we could not obtain any pressure condition from the andalusite-bearing sample due to absence of plagioclase, the calculated temperature condition is 550–650 °C. The U–Th–Pb monazite dating from all five samples yielded similar ages of *c.* 270 Ma, which correspond to the timing of collision in Mongolian Altai Mountains. These dating results together with previously published ages may imply that the metamorphic rocks across the Mongolian Altai and Gobi-Altai Mountains can be regarded as a single metamorphic belt. Similar age compared to previously published ages and various *P–T* conditions are still obscure, but they strongly indicate large pressure differences during continent-continent collision, which will be discussed with additional dataset in this presentation.

Keywords: aluminosilicates, *P–T* conditions, monazite dating, Gobi-Altai Mountains, Mongolia
*Corresponding author: kundinajan@gmail.com (S. Kundyz)

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Poster presentation | R1: Characterization and description of minerals

Sun. Sep 22, 2019 9:30 AM - 3:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 12:30 AM - 6:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R1: Characterization and description of minerals

[コアタイム] 12:00〜14：00

[R1P-01] X-shaped Esterel twin of quartz crystals from Obira mine,Oita Prefecture,Japan.

*TOSHIRO OKADA[1] (1. Wajirogaoka J.H.S)

[R1P-02] Magnetic properties and microstructures of magnetite from Yanahara mine, Okayama, Japan

*Makio Ohkawa[1], Geraldo Magela da Costa[2] (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. UFOP)

[R1P-03] Identification of rock type from thin sections using CNN deep learning

「発表賞エントリー」

*Mana Matsuda[1], Yusuke Seto[1] (1. Kobe Univ. Sci.)

[R1P-04] Integration of the Maximum Entropy Patterson method into the MEM analysis software Dysnomia

*Koichi Momma[1] (1. NMNS)

[R1P-05] Chemical characters of solid and melt inclusions in diopside megacrysts from Kamisano, Yamanshi prefecture.

*Masanori Kurosawa[1] (1. Life and Environ. Sci., Univ. Tsukuba)

[R1P-06] PGMs and Native Element Minerals from the Ultramafic Rock Body of the Kurosegawa Belt in Kumamoto prefecture, Japan

*Takahiro Tanaka[1], Daisuke Nishio-Hamane[2], Tadashi Shinmachi (1. Non, 2. ISSP, Univ. of Tokyo)

[R1P-07] Minakawaite, a new mineral

Daisuke Nishio-Hamane[2], *Takahiro Tanaka[1], Tadashi Shinmachi (1. Non, 2. ISSP, Univ. of Tokyo)

[R1P-08] Minerals from gold and PGM placer deposits from the Rumoi area in Hokkaido, Japan

*Daisuke Nishio-Hamane[1], Katsuyuki Saito (1. ISSP, Tokyo Univ.)

[R1P-09] Morimotoite from Chisaka, Hidaka, Hokkaido, Japan

*Daisuke Nishio-Hamane[1], Akihito Hagiwara (1. ISSP, Tokyo Univ.)

[R1P-10] Occurrence of holtstamite hydrogarnet from the Sekkaizawa and its high-pressure behavior

*Daisuke Nishio-Hamane[1], Koichi Momma[2], Akira Harada (1. ISSP, Tokyo Univ., 2. Nat'l. Mus. Nat. Sci.)

[R1P-11] The characteristic growth habits of phillipsite formed in Chichijima, Ogasawara Islands

「発表賞エントリー」

*Yuki Inoue[1], Mana Yasui[2], Hiroshi Hagiya[1], Atsushi Yamazaki [2] (1. Tokyo City Univ., 2. Waseda Univ.)

[R1P-12] Amesite from Yakiyama, Izuka, Fukuoka Prefecture, Japan

*Yuki Isshiki[1], Seiichiro Uehara[1] (1. Dept. Earth and Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.)

[R1P-13] Columbite group minerals from Mt. Nagatare, Fukuoka Prefecture

*Shin Ito[1], Seiichiro Uehara[2], Yohei Shirose[3] (1. Itoshima HS, 2. Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ., 3. Univ. Kyoto Univ.)

[R1P-14] Occurrence of Co ores from the Eboshi deposit, the Naganobori copper mine, Yamaguchi, Japan

*Mariko Nagashima[1], Yuji Imoto[2], Yukina Morishita[2] (1. Yamaguchi Univ. Earth Sci., 2. Yamaguchi Univ. Sci.)

[R1P-15] Clay mineralogy of the ore deposit and wall rocks from Akeshi mine, Kagoshima Prefecture, Japan

*Takuya Yoshimura, Seiichiro Uehara[1] (1. Kyushu Univ., Sci.)

[R1P-16] Quintinite from Hinogami Mine, Nichinan Town, Tottori Prefecture, Japan

*Takashi Ishibashi[1], Yoshihiro Yamamoto[1], Hidehiko Mitsuda[1], Norimasa Shimobayashi[2], Akane Watanabe[1], Takashi Fujiwara[1] (1. Masutomi Museum of Geoscience, 2. Graduate School of Science, Kyoto University)

[R1P-17] Mineral collection of Museum of Osaka University

*Takashi Ishibashi[1,2], Ken Ito[1], Setsuya Hashizume[1], Yasushi Nagata[1], Misao Sawada[2] (1. Museum of Osaka University, 2. Masutomi Museum of Geoscience)

[R1P-18] “Hiki Mineral Collection”, mineral collection of Kyoto University

*Yohei Shirose[1], Norimasa Shimobayashi[2], Masaki Takaya[2], Takashi Ishibashi[3], Michiaki Bunno[4] (1. Kyoto Uni. Mus., 2. Kyoto Uni. Sci, 3. Masutomi Mus. Geosci., 4. Tokyo Uni. Mus.)

[R1P-19] Mineral collection of Kyushu University

*Seiichiro Uehara[1], Yohei Shirose[2], Yasuhiro Ito[3] (1. Dept. Earth and Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ., 2. Museum, Kyoto Univ., 3. Museum, Kyushu Univ.)

R1P-01

大分県尾平鉱山産水晶にみられるＸ型エステレル式双晶について

岡田敏朗*（福岡市立和白丘中学校）

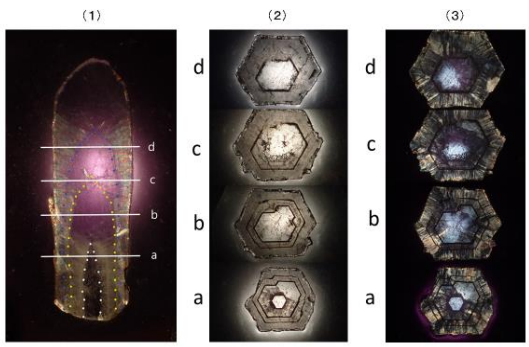
X-shaped Esterel twin of quartz from Obira mine , Oita prefecture, Japan.

Toshiro Okada (Wajirogaoka J.H.S)

１．はじめに

エステレル式双晶とは，双晶の接合角が 76° 26’，{10$\bar{1}$1} を双晶面とし，*m*面が向かい合い稜線が平行になるという特徴を持つ。稀に，日本式双晶と同様に X 型や Y 型になることがあり，今回，エステレル式双晶を見出した尾平鉱山中小屋地区には両方の型が見出された。周辺の地質は，古生代の花崗岩や超苦鉄質岩類および苦鉄質片麻岩が分布し，小規模なスカルンを形成している。このスカルンの灰鉄柘榴石や灰鉄輝石の晶洞が発達した部分よりエステル式双晶を含む水晶が産出した。観察は，X 型エステレル式双晶の形態的特徴と同じ晶洞より産出した結晶の偏光顕微鏡観察およびカソードルミネッセンス観察を行い，その成長過程を考察する。観察試料には，成長組織を調べるために単結晶を使用し，*c*軸方向に対して垂直方向，および，*c*軸に対して平行で*m*面に垂直方向に切断した薄片を作成し，成長に伴う変化を観察した。

OPM images



２．観察結果ならびに考察

偏光顕微鏡観察の結果，中小屋地区の水晶には，４回の成長ステージがあり，桜組織が観察出来た。白濁している部分および外縁部にブラジル式双晶ラメラが多く分布し，無色透明な部分にはブラジル式双晶ラメラは見られない。外縁部は結晶方位差の違いによるリネージ構造も観察された。

CL 解析による観察では，成長初期の段階では，明暗がパッチ状になっており成長縞のコントラストがはっきりしない。しかし，成長後期になると非常に細かな成長縞の明暗が見られるようになる。この成長縞は偏光顕微鏡で観察したブラジル式双晶ラメラの分布とも重なる。

エステレル式双晶の理想形は前述したように*m*面が向かい合い，稜線が平行になるという特徴をもつが，尾平鉱山産の X 型エステレル式双晶は，向かい合う*m*面の稜線が平行ではなく僅かにずれているものが多く見られる。しかし，接合形態や接合角がほぼ同じものが多産することから，これらには普遍性があるのではないかと考えた。本来，双晶は結晶外形の対称性によって双晶であるか否かを論じられるが，中小屋地区の水晶は，全ての水晶に桜組織を有し，桜組織が小傾角粒界を含むリネージ構造を持つために結晶方位の僅かなずれが結晶外形に表れるものではないかという仮定を立てて観察結果を見ていくと非常に調和的であった。

これらの観察結果より考えると，桜組織を有することで，双晶の対称性に僅かなずれが生じるのではないかと考えることが出来る。



Keywords:Quartz,X-shaped Esterel twin, sakura texture

***Corresponding author**:maika_yui@yahoo.co.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-02

岡山県柵原鉱山に産する磁鉄鉱の磁気特性および微細組織と組成

大川真紀雄*（広島大・院理），
Geraldo Magela da Costa（オウロ・プレット連邦大）

Magnetic properties and microstructures of magnetite from Yanahara mine, Okayama, Japan

Makio Ohkawa* (Hiroshima Uni. Sci.), Geraldo Magela da Costa (UFOP)

はじめに

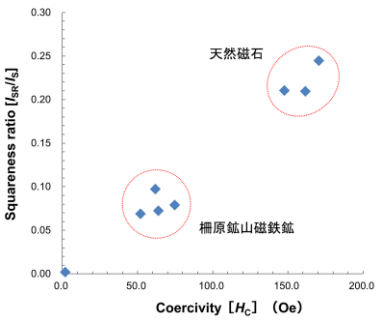
岡山県美咲町にかつてあった柵原鉱山（1991年閉山）は火山性の硫化物鉱床でその鉱石は主として黄鉄鉱鉱石であるが，鉱床深部では後に貫入してきた花崗岩による接触交代作用により鉱体の一部が変質し磁鉄鉱鉱石が生成している（東元，1962）。この磁鉄鉱を天然磁石であると紹介する文献もあるが，柵原鉱山では磁力選鉱が行われており，現在残っている磁力が磁力選鉱によって与えられた可能性を否定できない。しかし通常磁鉄鉱では強い残留磁化が残ることはまれで，本鉱石がもともと高い保磁力を持っていることに間違いはない。磁鉄鉱が高い保磁力を獲得する原因は，低温酸化による磁赤鉄鉱化（I型）と初生に Ti を含む場合の高温酸化によるイルメナイトラメラの析出による粒子サイズの細分化（II型）に大別されている（Wasilewski, 1977）。柵原鉱山の磁鉄鉱は Ti を含んでおらず，さらに鉱床の最深部より採掘されていることから酸化を受けている可能性も低い。そこで本研究では同産地の試料を用い磁化測定を行い，化学組成・微細組織を検討した。

実験

国立科学博物館所蔵の標本より分取した 2 試料に別途入手した試料を加えた 3 試料について，SQUID 磁束計（Quantum Design MPMS）を用いた磁化測定，EPMA（JEOL JXA-8200）による化学分析，メスバウアー分光法による分析を行った。

結果と考察

国立科学博物館所蔵の 2 標本は鉄のクリップを引きつけるなど，明らかに磁石としての性質を有しているが，その保持力は“天然磁石”として知られる試料に較べるとずっと低いことがわかる（図）。組成的には Si 含有量が多い（SiO_2 <4.34wt%）ことが特徴的で，EPMA による面分析ではミクロンオーダーでの Si 含有量の多寡による複雑な微細組織が認められる。メスバウアー分光法では一部に酸化が示唆されるデータが得られたものの，反射顕微鏡による観察でも EPMA による分析でも低温酸化によってできるとされる酸化鉄（赤鉄鉱，磁赤鉄鉱）は認められなかった。この結果は Si 含有相の組成として Xu ら（2014）によって提案された$[\square_{0.5}Fe^{3+}{}_{0.5}Fe^{2+}{}_{0.5}]^{VI}Si^{IV}O_4$ を仮定すれば整合的に理解可能である。よって柵原鉱山産磁鉄鉱の持つ高い保磁力は二次的な低温酸化によるものではなく，初生的な組成・組織が原因であると考えられる。



図．磁鉄鉱の磁気特性

Keywords: magnetite, coercivity, Si-substitution, intergrowth
*Corresponding author: ohkawa@hiroshima-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

深層学習による薄片画像の認識と岩石分類

松田 真奈, 瀬戸 雄介* (神戸大・院・理)

Identification of rock type from thin sections using CNN deep learning

Mana MATSUDA, Yusuke SETO* (Kobe Univ. Sci.)

１．はじめに

近年、畳み込みニューラルネットワーク(CNN)を用いた深層学習が様々な分野に応用され、画像処理や音声処理における特徴検出や認識において高い性能を発揮することが示されている。条件によっては深層学習が人間の認識精度を超えることもあり、岩石・鉱物学分野への応用が期待される。本研究では、深層学習法が最も得意とする画像分類に注目し、岩石薄片画像から岩石種の判別する学習モデルの構築を試みた。

２．研究手法

深層学習を行うためには大量の訓練用データを用意する必要がある。そのためまず偏光顕微鏡のステージにステッピングモーターを組み込み、さらにカメラと同期させることで、高速な自動撮影システムを構築した。

上記のシステムを用いて、(株)ニチカから購入した 10 種類の岩石(かんらん岩, かんらん石普通輝石はんれい岩, はんれい岩(ノーライト), 石英モンゾニ岩, かんらん石玄武岩, ざくろ石黒雲母安山岩, 輝石安山岩, 緑簾石藍閃石片岩, 紅簾石石英片岩, 泥岩)から偏光顕微鏡薄片写真(オープンとクロス)を撮影した。それぞれの岩石種ごとに 720 枚の画像(3.0×2.3 mm^2)を取得し、450×320 $pixel^2$ にリサイズしたものを学習に使用した。

深層学習の実装には Google 社が開発した TensorFlow (www.tensorflow.org)を使用し、Python 環境下で実行した。様々なニューラルネットワークモデルを作成し、学習精度や正解率を評価した。

３．結果

CNN 深層学習は、画像中の特徴を抽出する畳み込み演算と、その特徴を保持しつつ画像サイズを圧縮するプーリング演算を交互に繰り返す手法である。畳み込みとプーリングの繰り返し回数は、学習結果に大きな影響を与えることが知られている。図 1 にこの繰り返し回数に対する正答率を示した。1~2 回程度の繰り返しで正解率が高くなる傾向がみられ、最高の正解率はオープンニコルのみで評価した場合は 98 %、クロスニコルのみでは 95 %、両者を直列にスタックした画像では 98 %となった。全体的に、スタックした画像を使用した場合の正解率が高く、クロスのみの場合が低い。次に、訓練用データ数と正解率の関係を図 2 に示す。訓練用データが 500 枚(10 種の岩石が各 50 枚)の場合でも正解率は 70%を上回り、枚数の増加と共に正解率は向上する。5000 枚でも上限に達しておらず、訓練データを増やせば更なる正解率の向上が期待できる。

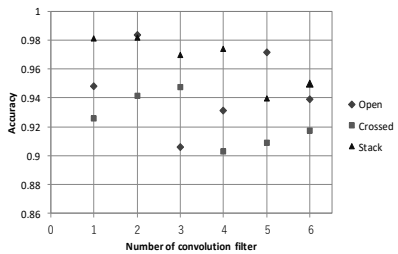


図 1. 畳み込み＋プーリングの層数に対する正解率の変化. 訓練用データ数は 5000 枚.

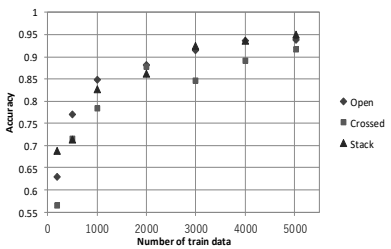


図 2. 訓練用データ数に対する正解率の関係. 畳み込み＋プーリングは 6 層.

４．考察

薄片画像データを用いた深層学習による岩石判別を行った結果、少なくとも筆者らが用意したデータセットに対しては高い正解率を示した。特に、オープンニコルとクロスニコルの画像をスタックし、畳み込み＋プーリングの層数は 1~2 回程度、訓練用データを 5000 枚以上使用した場合では 98%以上の正解率に達し、岩石判別のツールとして有効であることを確認した。

Keywords: deep learning, rock classification, computer vision

*Corresponding author: seto@crystal.kobe-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-04

MEM 解析ソフトウェア Dysnomia への最大エントロピー パターソン法の統合

門馬綱一(国立科博)

Integration of the Maximum Entropy Patterson method into the MEM analysis software Dysnomia

Koichi Momma (NMNS)

A feature of the Maximum Entropy Patterson (MEP) method has been implemented into a MEM analysis software Dysnomia. It is now capable of reading output files of RIETAN-FP, *.ffo, containing diffraction peak intensities extracted by Le Bail analysis, and generating a file *.input, containing improved intensities estimated by MEP, for structure solution by the charge flipping software Superflip.

最大エントロピー法(MEM)は結晶学において、実測のX線・中性子回折データから電子・核密度分布を計算する際などに広く用いられている。実測データには含まれない結晶構造因子の位相項の情報は、結晶構造解析の結果に基づいて構造モデルから計算した値がそのまま用いられる。一方、位相項を含まない回折強度（結晶構造因子の絶対値の二乗）からは、同様にMEMを用いてパターソン関数分布を求めることができる。MEMにおいては、通常のフーリエ合成において問題となる打ち切り効果の影響が出にくく、(X線回折の場合)現実にはありえない負の電子密度やパターソン関数密度が生じない。未観測の回折ピークに対しても、非負の強度が推定されることから、最大エントロピーパターソン法(MEP)によって確度の高いパターソン関数分布を求めることで、未観測ピークの強度や、粉末回折で問題となる重畳ピーク中の個別ピーク強度を推定することができる。

汎用のMEP解析ソフトウェアとしてはALBAがRIETAN–FPと共に配布されているが、設計が古く、大規模データに対応しない、重み付け機能を持たない、近似解しか得られず厳密解を求められない、などの課題があった。そこで、MEM解析ソフトウェアDysnomia (Momma et al., 2013) のアルゴリズムをそのまま生かし、MEP機能の統合を図った。基本的なMEMのアルゴリズム自体は電子・核密度解析の際と共通であるが、MEP解析においては以下の相違点があり、それらの機能を追加した。(1)入出力ファイル形式、(2) Wilson plotによる回折強度のスケール因子の推定、(3)グループ化した反射による制約条件式。MEP解析においては、パターソン関数そのものより、そこから導かれる回折強度データを用いて結晶構造を導出することが目的であるため、Superflipの入力ファイルを自動作成する機能も追加した。これにより、MEP解析終了後、Superflipを容易に実行でき、Charge flipping法による構造導出が可能である。

MEM解析においては、実測データに適切な重み付けを行わないと、合理的な電子・核密度データが得られないことが指摘されており、格子面間隔dの4乗による重み付けなどが提案されている (de Vries et al., 1994)。しかし、適切な重みは、格子定数や、対象データの種類（電子密度、核密度、パターソン関数の何れであるか）など、データごとに異なる。そこで、自動で最適な重み係数を決定する試みを行った。発表では最適な重み付け関数についての評価と、自動重み付け機能の詳細について述べる。

引用文献 : [1] Momma et al. (2013) Powder Diffraction, 28, 184. [2] de Vries et al. (1994) Acta Cryst., 50, 383.

Keywords: maximum entropy method, maximum entropy Patterson method
*Corresponding author: k-momma@kahaku.go.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-05

マグマ性鉱床プローブとしての透輝石斑晶メルト包有物

黒澤 正紀*（筑波大・生命環境）

Chemical characters of solid and melt inclusions in diopside megacrysts from Kamisano, Yamanshi prefecture.

M. Kurosawa*(Life Env. Sci., Univ. Tsukuba)

Solid inclusions and daughter minerals in melt inclusions of diopside megacrysts from basaltic andesite veins at the Kamisano area, Yamanashi prefecture, Japan, were analyzed with a SEM–EDS to examine chemistries of melts and fluids from magma associated with ore deposits in southern Fossa Magna area.

花崗岩起源の熱水性金属鉱床の形成には、塩素や硫黄に富む酸化的な花崗岩が地殻浅部に貫入することが重要とされている。特に、大規模金属鉱床の形成では、花崗岩マグマ中に初生的な硫酸イオンが存在し、母岩からメルトに有用金属を効率的に抽出することで、多量の金属を含む熱水流体が固結時に放出することが想定されている。つまり、大規模鉱床の形成過程の解明には、花崗岩マグマ形成での化学的環境の解析が重要となるが、地下深部情報の解析手法については、まだ模索段階となっている。そうした中、大規模地溝帯などの深部断裂に沿って上昇する深部由来岩脈の一部には、花崗岩形成場の近傍に源があり、斑晶の包有物に地下の化学的環境の情報を持つものが存在する可能性が考えられる。

南部フォッサマグナ地域の透輝石を含む岩脈は、組成と累帯構造の特徴からマグマ溜まり深部からの運搬結晶とされ、その種の結晶がオスロリフトなど大規模地溝帯によく伴われる点、包有物に含水鉱物を多量に含むことから、造構運動で上部マントル浅部に水が供給された条件での結晶化が推測されている。この条件は、この地域の花崗岩質マグマの形成環境と関連している可能性がある。そこで、今回は、南部フォッサ地域の上部マントル浅部でのマグマ発生と鉱床形成との関係を解明するため、透輝石斑晶の固相及びメルト包有物の特徴を予察的に検討した。

試料には、山梨県南部町天子湖付近林道に貫入する玄武岩質安山岩岩脈の透輝石斑晶を用いた。この岩脈は、周囲の小規模な閃緑岩・花崗閃緑岩の岩体とほぼ同じで、中新世～鮮新世の貫入とされている。斑晶として 1cm 大の多数の透輝石、少量の普通輝石を含み、石基には主に透輝石・普通輝石・斜長石・緑泥石・磁鉄鉱・微量の黄鉄鉱が含まれていた。岩片として透輝石・斜長石の集合体も少量認められた。

透輝石斑晶は常に普通輝石のリムを持ち、コア部分は丸みを帯び、リムは骸晶状であることから、透輝石斑晶が異なるメルトに捕獲され、急速に上方運搬されたことを示唆する。透輝石コアの Cr_2O_3 濃度は 0.2～0.7wt.%で内部でも斑晶ごとにも変動がある。普通輝石リムの同濃度は 0～0.2wt.%である。透輝石コアは、固相包有物として斜長石を含み、微量の磁鉄鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱を時々含む。

流体包有物として、析出結晶を含むメルト包有物が多数存在したが、液相を含むものは未確認である。メルト包有物の主な析出結晶は、普通輝石＋斜長石＋緑泥石±パーガス閃石±方解石±カリ長石±アルカリ長石±アパタイト±チタン石±ジルコン±硫化物±磁鉄鉱であった。硫化物は黄鉄鉱・黄銅鉱が主で、砒素を含む方鉛鉱、アンチモン・テルル・銀等を含む微小結晶も認められた。

析出結晶の鉱物組合せから推定される捕獲メルトの主成分組成は、ほぼ閃緑岩質～花崗岩質で、同地域の花崗岩類と一致する。多量の含水鉱物・方解石の存在から、この地域の上部マントルのマグマ形成場には水と炭酸ガスが豊富で、硫酸塩・赤鉄鉱の欠如から、それほど酸化的でない状態が示唆された。また、包有物内に亜鉛・鉛の硫化物が少ないことは、同地域内には小規模な金・銀・銅鉱床のみ分布する状況と調和的と考えられる。深部由来岩脈の透輝石斑晶の包有物は、地域の花崗岩マグマ形成場や熱水性金属鉱床の形成過程を検討する手がかりとなる可能性がある。

Keywords: melt inclusion, chromian diopside, sulfide
*Corresponding author: kurosawa@geol.tsukuba.ac.jp

熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体における白金族元素含有鉱物および元素鉱物について

田中崇裕*・浜根大輔（東京大・物性研）・新町正

PGMs and Native Element Minerals from the Ultramafic Rock Body of the Kurosegawa Belt in Kumamoto prefecture, Japan

Takahiro Tanaka*, Daisuke Nishio-Hamane (ISSP, Univ. of Tokyo), Tadashi Shinmachi

日本における白金族元素含有鉱物（PGM）についての研究は，北海道にほぼ限られている．熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体を横切る河川において，重砂試料を採集し，検討を行ったところ，多数の PGM および元素鉱物が見出されたことから，それらを報告するとともに，それらの起源についても考察する．

熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩は，概ねダン橄欖岩起源の蛇紋岩からなるが，部分的に単斜輝石岩のレンズ状岩体を含むことが知られている．今回，PGM および元素鉱物が認められた調査地は，八代市東陽町南（M），泉町下岳（S），坂本町深水（F），下益城郡美里町払川（H）である．下岳及び払川は単斜輝石岩体，その他は蛇紋岩体を横切る河川の下流である．なお，今回得られた PGM は，ほとんど川擦れしていないことからほぼ現地性のものと考えられる．確認された鉱物種を Table 1 にまとめた．単斜輝石岩体由来の PGM は Pt-Rh-Pd（Palladium-subgroup platinum-group elements: PPGE）を主体とし，元素鉱物，硫化物，テルル化物，砒化物，アンチモン化物となっている．それらは isoferroplatinum の粒をベースとし，それを覆うように産する他，粒の上にコブとして認められる．Ir-Os-Ru（Iridium-subgroup platinum-group elements: IPGE）は主に硫化物として少量のみ認められた．一方でダン橄欖岩起源の蛇紋岩由来のものは，IPGE の元素鉱物に限られていた．一般的に PPGE はマグマ中では不適合であるため，S, As, Sb, Te, Bi 等と共に分化したマグマ中に濃集していく．一方，IPGE は集積岩と共にマグマから取り除かれていく．従って，本調査の結果から，黒瀬川帯の単斜輝石岩は，上部マントルの部分溶融に始まり，マグマの分化の末に生じた残留メルトから生成したことが伺え，今回見出された多様な PGM もそのような特異なプロセスを経て生じたものと考えられる．

Table 1. List of PGMs and native element minerals from the ultramafic rock body of the Kurosegawa belt in Kumamoto prefecture, Japan

Mineral	Composition	Locality
PGMs		
Bowieite	Rh_2S_3	H
Cherepanovite	RhAs	H
Cuprorhodsite	$(Cu_{0.5}Fe_{0.5})Rh_2S_4$	H
Elichmanite	OsS_2	H
Ferhodsite-like mineral	$(Fe,Rh,Ni,Ir,Cu,Co,Pt)_{9-x}S_8$	H
Hollingworthite	RhAsS	H
Irarsite	IrAsS	H
Iridium	Ir	M
Isoferroplatinum	Pt_3Fe	H, S
Kingstonite	Rh_3S_4	H
Laurite	RuS_2	H
Miassite	$Rh_{17}S_{15}$	H
Minakawaite	RhSb	H
Moncheite	$PtTe_2$	H
Osmium	Os	H, M
Paladinite	PdO	H
Platinum	Pt	H
Rutenium	Ru	M
Tetraherroplatinum	PtFe	H
Tulameenite	Pt_2CuFe	H
Ungavaite	Pd_4Sb_3	H
Unknown1	$Pd_{20}Te_7$ or Pd_2Te	H
Unknown2	Pd_3Te	H
Unknown3	Rh[(Cu,Fe),Ge]?	H
Unknown4	RhSbS	H
Unknown5	Rh_2Sb_2S	H
Unknown6	$(Co_{0.5}Fe_{0.5})Rh_2S_4$	H
Unknown7	$Ca(Rh,Ir,Pt)_2(SO_4)_4$	H
Element minerals		
Sn-bearing brass	$Cu_3(Zn,Sn)_2$	M
Gold	Au	H, M
Nickel	Ni	M
Silver	Ag	F

Keyword: PGM, Native element mineral, PPGE, IPGE, Kurosegawa belt

*Corresponding author: penta@kuh.biglobe.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

新鉱物　皆川鉱（Minakawaite）

浜根大輔（東京大・物性研）・田中崇裕*・新町正

Minakawaite, a new mineral

Daisuke Nisio-Hamane (ISSP, Univ. of Tokyo), Takahiro Tanaka*, Tadashi Shinmachi

日本における白金族元素含有鉱物（PGM）の産出については，北海道を除いてほとんど報告されていないことから，熊本県に分布する黒瀬川帯の超苦鉄質岩体を対象に PGM の調査を続けてきた．その結果，下益城郡美里町払川の単斜輝石岩体を横切る河川から数多くの PGM が見出された．その中には，数種類の未知の鉱物が含まれており，その一つが RhSb という組成に該当した．我々は，著者である浜根及び田中の恩師である愛媛大学元教授の皆川鉄雄に，師の名を当該鉱物に献名したい旨を伝え，了承が得られたことから，国際鉱物学連合の新鉱物・鉱物・命名委員会に皆川鉱（Minakawaite）を申請し，承認された．

払川で採集された PGM は，ほぼ全ての粒のコア部が isoferroplatinum からなっており，しばしばそれを tetraferroplatinum 及び tulameenite が覆っている．また，isoferroplatinum の粒は多様な鉱物を包有する他，稀に表面にコブ状の粒を伴う．このコブ状の粒は，主に Rh, Ir, Ru, Os を主成分とする鉱物からなっており，皆川鉱はそれらを覆うように最も外側に皮膜状で形成されている．この産状から，鉱化ステージの際末期に生成したものと考えられる．肉眼的には，バラ色がかった灰色であり，反射顕微鏡下では，淡灰色を呈し，弱い多色性(ピンク味がかった淡灰色－青味がかった淡灰色)及び中程度の異方性(赤灰色－青灰色)を示す．

皆川鉱の SEM-EDS による定量分析の結果は，Rh 46.83, Sb 48.97, As 4.08, total 99.88 wt%であり，総原子数を 2 としたとき $Rh_{0.998}(Sb_{0.882}As_{0.120})_{\Sigma 1.002}$ の実験式が得られた．また，皆川鉱は薄い皮膜状で産するため，微小部 X 線回折計を用いて試料表面から X 線回折パターンを得た．最も強い 7 つのピーク [*d*Å(I)(hkl)] は 2.860(63)(111)，2.774(35)(102),, 2.250(47) (112), 2.199(100)(211), 2.162(38)(202)，1.923(49)(020)，1.843(51)(013)である．空間群（*Pnma*）で指数付けされた格子定数は $a = 5.934(7)$，$b = 3.848(3)$，$c = 6.305(4)$ Å，$V = 144.0(2)$ Å^3 (Z = 4) である．実験式及び XRD データを基に計算された比重は，10.04 g/cm^3 である．皆川鉱は，合成物である MnP 型の RhSb 相と同一であり，鉱物としては，RhAs を端成分にする cherepanovite の Sb 置換体に相当する．

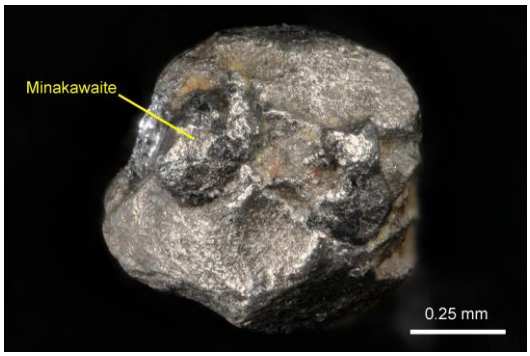


Fig. 1 Photograph of minakawaite

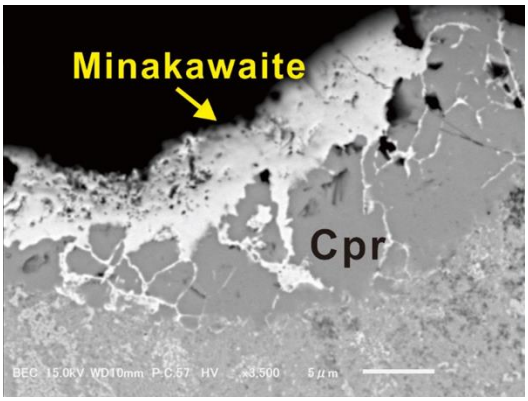


Fig. 2 SEM-image of minakawaite and Cuprorhodsite (Cpr)

Keyword: Minakawaite, PGM, Clinopyroxinite, Kurosegawa, Kumamoto

*Corresponding author: penta@kuh.biglobe.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

北海道留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物種

浜根大輔*(東大・物性研), 齋藤勝幸

Minerals from gold and PGM placer deposits from the Rumoi area in Hokkaido, Japan

Daisuke Nishio-Hamane* (ISSP, Univ. of Tokyo), Katsuyuki Saito

北海道留萌管内は新第三紀の堆積岩を主体とする地質であり、超苦鉄質岩の分布は認められない。一方で多くの場所で砂金・砂白金を採集することができる。これは堆積岩の原岩に超苦鉄質岩体が含まれていたためと推測される。我々は原岩の超苦鉄質岩体の特徴を把握するために、砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物について調査を行っている。

今回報告する調査地は初山別村初山別川(S)、羽幌町愛奴沢川(A)、苫前町海岸(T)、小平町上記念別沢川(K)、小平町海岸(O)となる。Table1に確認された鉱物種および未命名鉱物を記した。また、砂鉱床に普遍的に認められる鉱物はリストからは除いた。留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物は多様であり、先日に承認されたばかりの皆川鉱(minakawaite)も含まれるが、ここではqusongiteおよび$PtCu_3$鉱物について概要を記す。

QusongiteはWCを端成分とし、チベットのオフィオライトから最初に見出され、カムチャツカからも産出が報告されている。愛奴沢川のqusongiteは400μmの楕円形状の黒色粒として産出し、表面には10μm程度の四面体結晶が多数認められる。分析値は$W_{0.92}C_{1.08}$、格子定数はa = 2.092(2) Å, c = 2.832(3) Å, V = 20.65 (11) Å^3($P\bar{6}m2$)である。Qusongiteは粒子サイズがまばらで、粒子間には隙間も多く、製品の炭化タングステンにしばしば含まれるFeやCoも検出されないため、天然物と判断している。

$PtCu_3$鉱物は世界でもいくつかの地域から見いだされているが、鉱物種として確立されていない。苫前町海岸においては、rutheniumに付随するtulameeniteのインクルージョンとして、数μm程度のzaccariniiteの粒子とともに、数μmから20μmの不定型な粒子で$PtCu_3$鉱物が見いだされた。おおむね100×300μmの領域にそれらが多数分布することから、微小部XRDによる格子定数の測定が可能であった。$PtCu_3$鉱物の組成は$Cu_{3.09}Pt_{0.91}$、格子定数はa = 3.683(2) Å, V = 49.97(7) Å^3($Pm\bar{3}m$)である。

留萌管内の砂金・砂白金鉱床を構成する鉱物は、カムチャツカの超苦鉄質岩から産出する鉱物群との類似性が認められる。

Table 1. List of minerals from placer deposits

Mineral	Composition	Locality
Braggite or Cooperite	PtS	T
Cherepanovite	RhAs	S, T
Gold	Au	A, K, O, S, T
Erlichmanite	OsS_2	T
Ferronickelplatinum	Pt_2FeNi	O, S, T
Hollingworthite	RhAsS	K, S, T
Hongshiite	PtCu	S, T
Irarsite	IrAsS	A, K, S, T
Iridarsenide	$IrAs_2$	S
Iridium	Ir	A, K, O, S, T
Isoferroplatinum	Pt_3Fe	A, K, O, S, T
Laurite	RuS_2	A, K, S, T
Lead	Pb	S
Mertieite-I	$Pd_5(Sb,As)_2$	T
Minakawaite	RhSb	T
Osmium	Os	A, K, O, S, T
Platinum	Pt	O
Qusongite	WC	A
Rhodarsenide	Rh_2As	S, T
Rumoiite	$AuSn_2$	S
Rutheniridosmine	(Ir,Os,Ru)	A, K, O, S, T
Ruthenium	Ru	A, K, O, S, T
Shosanbetsuite	Ag_3Sn	S
Sperrylite	$PtAs_2$	S, T
Tetraferroplatinum	PtFe	A, K, O, S, T
Tolovkite	IrSbS	A
Tulameenite	Pt_2CuFe	A, K, O, S, T
Vincentite	Pd_3As	T
Yuanjiangite	AuSn	S
Zaccariniite	RhNiAs	T
Unnamed minerals		
$CuSbRh_2$	$CuSbRh_2$	T
$Fe(Ir,Os,Ru)_2$	$Fe(Ir,Os,Ru)_2$	A
Ni_2IrS_3	Ni_2IrS_3	T
$PtCu_3$	$PtCu_3$	S, T

A, Ainusawa Riv.; K, Kamikinenbetsu Riv.; O, Obira Coast; S, Shosanbetsu Riv.; T, Tomamae Coast.

Keywords: qusongite, $PtCu_3$, PGM, gold, Rumoi, Hokkaido

*Corresponding author: hamane@issp.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-09

北海道日高町千栄産の森本ざくろ石

浜根大輔*（東京大・物性研）・萩原昭人

Morimotoite from Chisaka, Hidaka, Hokkaido, Japan

Daisuke Nishio-Hamane* (ISSP, Univ. of Tokyo), Akihito Hagiwara

ざくろ石超族は $X_3Y_2Z_3\varphi_{12}$ の一般式で示され、一般的に $Y = M^{3+}$であることが多いが、森本ざくろ石（Morimotoite）は $Y = (Ti^{4+} + Fe^{2+})$ で特徴付けられ、その端成分は $Ca_3(Ti^{4+}Fe^{2+})Si_3O_{12}$ と定義されている。森本ざくろ石は岡山県高梁市布賀を模式地とし、そこでは石英モンゾニ岩の貫入に派生する高温スカルンに産出する。森本ざくろ石の産出は日本国内に限っては本報告が 2 例目となるだろう。

北部の日高町は沙流川上流から中流にかけて位置し、町内の山地は日高山脈に該当する。地質は古生代から新生代にかけての付加体を中心とし、大規模な蛇紋岩体も分布する。特に糠平岩体には、ハルツバージャイトやダナイトをはじめ、いわゆる日高ヒスイとして知られる透輝石を主体とした岩石やロジン岩がしばしば伴われる。沙流川の支流となる千呂露川へ注ぐ小規模河川の上流部を調査したところ、蛇紋岩に胚胎されるロジン岩の露頭を見いだした。ロジン岩には緑泥石＋透輝石を主体とした岩石も伴われており、その岩石の構成鉱物および岩石を切る脈として森本ざくろ石が産出する。

岩石は主に緑泥石と透輝石の混合体で、緑泥石の比率がやや多い。そのほかの共生鉱物として微細なチタン石、森本ざくろ石（もしくは灰鉄ざくろ石）が見られ、黄鉄鉱も含まれるが少量である。岩石内の構成鉱物は多くが不定形だが、脈状に分布するざくろ石のみは自形を示す。ざくろ石は最大径が 1 ミリの 12 面体結晶で、光沢の強い結晶が群晶となり脈面に連続する。

脈状に分布するざくろ石は主に黒紫色を呈する。内部は組成累帯を示し、Ti に富む部分と乏しい部分が認められる。マッピングにより相関を観察したところ、Ti-Fe が強く相関する一方で Ti-Si および Fe-Si 間には相関が認められない。そのため分析値から実験式を組み立てる際に計算するべき Fe^{3+}はショーロマイトざくろ石成分ではなく、灰鉄ざくろ石成分を想定している。

Ti に富む部分の平均分析値（n. = 10）は、MgO 0.44, Al_2O_3 1.42, SiO_2 31.50, CaO 34.14, TiO_2 13.30, FeO 15.57, Total 96.38 wt%であった。Ca+Mg = 3 で規格化し、合計アニオン 12 および Ti = Fe^{2+}として Fe^{3+}と(H_4O_4)を見積もった実験式は $(Ca_{2.95}Mg_{0.05})_{\Sigma3}(Ti_{0.81}Fe^{2+}_{0.81}Fe^{3+}_{0.24}Al_{0.13})_{\Sigma1.99}[Si_{2.54}(H_4O_4)_{0.47}]_{\Sigma3.01}O_{10.12}$ である。Si がわずかではあるが 2.5apfu を上回るため、鉱物種としては森本ざくろ石に該当する。このように本研究で見出された森本ざくろ石は Si < 3 となることが特徴的で、これは $Ca_3(Ti^{4+}Fe^{2+})(SiO_4)_{3-x}(H_4O_4)_x$ 固溶体の存在を示唆している。実際の含水量および三価鉄の測定などは今後の検討課題である。

Ti に乏しい部分の平均分析値（n. = 10）は、MgO 0.26, Al_2O_3 0.88, SiO_2 32.47, CaO 33.92, TiO_2 8.76, FeO 20.18, Total 96.47 wt%で、同様に計算された実験式は $(Ca_{2.97}Mg_{0.03})_{\Sigma3}(Fe^{3+}_{0.84}Ti_{0.54}Fe^{2+}_{0.54}Al_{0.08})_{\Sigma2.00}[Si_{2.65}(H_4O_4)_{0.35}]_{\Sigma3.00}O_{10.61}$ となり、これは灰鉄ざくろ石に該当する。また、脈の一部には緑色部が認められ、そこは極端に低い Ti 内容であった。その平均分析値（n. = 10）は、MgO 0.18, Al_2O_3 1.66, SiO_2 35.04, CaO 33.57, TiO_2 1.69, FeO 24.87, Total 97.01 wt%で、実験式は $(Ca_{2.98}Mg_{0.02})_{\Sigma3}(Fe^{3+}_{1.62}Al_{0.16}Ti_{0.11}Fe^{2+}_{0.11})_{\Sigma1.99}[Si_{2.90}(H_4O_4)_{0.11}]_{\Sigma3.01}O_{11.57}$ となり、より灰鉄ざくろ石の端成分に近い値が得られた。

Keywords: morimotoite, andradite, hydrous garnet, Nukabira complex, Hidaka
*Corresponding author: hamane@issp.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-10

秩父鉱山石灰沢から見出された holtstamite 加水ざくろ石とその高圧挙動

浜根大輔*(東大・物性研), 門馬綱一(科博), 原田明

Occurrence of holtstamite hydrogarnet from the Sekkaizawa and its high-pressure behavior

Daisuke Nishio-Hamane* (ISSP, Univ. of Tokyo), Koichi Momma (Nat'l. Mus. Nat. Sci.), Akira Harada

ざくろ石超族は$X_3Y_2Z_3\varphi_{12}$の一般式で示され、多くは立方晶($Ia\bar{3}d$)であるが、2種類の加水ざくろ石(holtstamiteおよびhenritermierite)のみは正方晶($I4_1/acd$)を基本格子とする。加水ざくろ石固溶体を$Ca_3Al_2(SiO_4)_{3-x}(H_4O_4)_x$としたとき、x = 1がholtstamiteに該当し、端成分は$CaAl_2Si_2O_8(OH)_4$と定義される。

HoltstamiteはWessels鉱山(南アフリカ)でのみ産出が知られる稀産鉱物で、henritermieriteと固溶体を形成する。構造は固溶されているMn^{3+}のヤーン・テーラー効果で正方歪みが強調されており、Hålenius et al., (2005)は加水ざくろ石が正方晶を維持するにはMn^{3+}の存在が不可欠であると考えた。

日本においては高温型スカルン(広島県久代)から産出する加水ざくろ石が興味深い性質を示す。久代産加水ざくろ石はholtstamiteに近い組成を示し、Mn^{3+}を含まない。また、光学的等方体ではなく、太いXRDピーク半値幅を示す。これらの性質から逸見ら (1971)はこの加水ざくろ石は立方晶ではない可能性を指摘していた。

そうした先行研究がある中で、我々は埼玉県秩父鉱山石灰沢の高温スカルンから産する加水ざくろ石について検討を行ったところ、調べた範囲内のすべてがholtstamiteであることが判明した。またその化学組成は端成分に近く、Mn^{3+}を全く固溶しない。このholtstamiteは岩石の単位で大量に存在し、石灰沢では最も普遍的な造岩鉱物の一つと言える。共通の特徴から逸見ら (1971)が報告した久代産加水ざくろ石もholtstamiteである可能性が示唆される。

石灰沢のholtstamiteはゲーレン石が熱水活動で分解した岩石の主要構成鉱物をなす。そのほかの構成鉱物としてベスブ石、アメス石、ベーム石、chantaliteおよび少量の硫化鉱物が認められる。Holtstamite岩は全体的に白色だが、アメス石に富む部分は青色を帯びる。同様の岩石から和田石が産出した報告もあるが(松原, 2017)、本研究では未見である。

Holtstamiteの分析値(n = 30)は$(Ca_{2.77}Mg_{0.22})_{\Sigma 2.99}(Al_{1.93}Fe^{3+}_{0.05})_{\Sigma 1.98}Si_{2.02}O_8(H_4O_4)$で、格子定数は$a$ = 12.161(1) Å, c = 11.968(1) Å, V = 1770.0(3) Å^{3}である。結晶構造についてはガンドルフィーカメラで得られた回折に対しリートベルト解析を行い、R_{wp} = 2.17% R_P = 1.89%, $R_{B(\text{holtstamite})}$ = 4.08%, $R_{F(\text{holtstamite})}$ = 2.58%に収束した。

Holtstamiteの結晶化学的な席は$X1_2X2Y1_2Z1_2Z2O1_4O2_4(O3H1)_4$となっており、4H + $^{Z2}\square \rightarrow \square + {}^{Z2}$Si置換によってZ2席がほとんど空となり、$Z2$-($O3H1$)四面体が拡張していることが確認された。Holtstamiteの正方歪みは、OH基の発生が$Z2$席まわりの$O3$席に偏ることに起因すると考えられ、Mn^{3+}の存在は本質的に不要であろう。

また加水ざくろ石の系統的理解の一助とするために、石灰沢産holtstamiteに対して静水圧下において10GPaまでの加圧実験を行った。得られた体積弾性率はK_0 = 104.5(8)GPa[K'=4.29(5)]、108.8GPa(K'=4)であり、この値はgrossular－katoiteのおおむね中間となる。詳細は当日に報告する。

引用：Hålenius et al. (2005) EJM, 17, 375-382; 逸見ら (1971) 鉱物学雑誌, 10, 160-169; 松原(2017) 秩父鉱山140種の鉱物のきらめき, p.21.

Keywords: holtstamite, hydrogarnet, Sekkaizawa, Chichibu mine, high pressure
*Corresponding author: hamane@issp.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

小笠原諸島父島に産する phillipsite の特徴的成長組織について

井上裕貴(東京都市大)・安井万奈(早大理工)・萩谷宏(東京都市大)
・山崎淳司(早大理工)

The characteristic growth habits of phillipsite formed in Chichijima, Ogasawara Islands

Yuki Inoue* (Tokyo City Univ.) Mana Yasui (Waseda Univ.)
Hiroshi Hagiya (Tokyo City Univ.) Atsushi Yamazaki (Waseda Univ.)

The Ogasawara Islands are located in the Pacific Ocean approximately 1000 km south of Tokyo. The Ogasawara Islands are formed by Paleogene submarine volcanism and produce characteristic boninite formation. In particular, descriptions of various zeolites in the boninite and related rocks in Ogasawara Islands Chichijima and Anijima are reported. In this study, we focused on the characteristic crystal growth structure of phillipsite zeolite in the cavity of the volcanic rock of Chichijima. As a result of SEM-EDS analysis, at least three or more growth modes were observed. The extraframework cations of phillipsite filling in the rock cavity changes from the onset of growth to Na-rich, K-richi and Ca-rich in relation to the change in crystal habit. Furthermore, it was also observed that several different kinds of zeolite species coexist in the same cavity.

伊豆-小笠原弧南部に位置する小笠原諸島父島、兄島では様々な沸石がボニナイト及び関連する火山岩中に産出することが報告されている。(Nishido:1982、藤田:2016 他)

本研究では、父島の宮之浜および初寝浦において、ボニナイト及び古銅輝石安山岩中の空隙を充填する phillipsite について主に SEM-EDS を用いて観察を行った。

その結果、空隙中の phillipsite について少なくとも 3 段階以上の成長機構が確認された(図 1)。Phillipsite 結晶成長の開始基部(図 1 の右下)から、骨格外陽イオンの組成比が Na-rich から K-rich となり、最外部では晶癖の変化を伴い、Na 比は一定のまま、K 比が減少し Ca 比の増加がみられた。また、その他の火山岩中には、同一の晶洞中に複数種の沸石が共生充填するものも観察された。これら沸石群の産状についてもあわせて報告する。

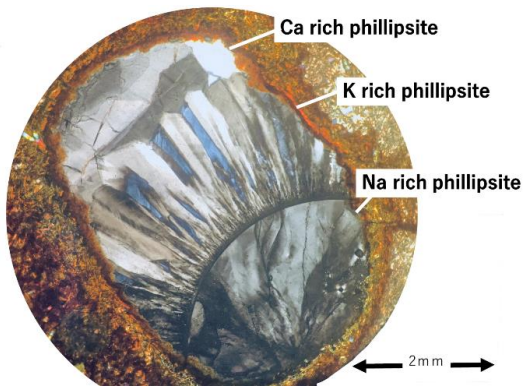


図 1. 宮之浜産ボニナイトの晶洞に見られる phillipsite の 3 段階成長

Keywords: Phillipsite, Step growth, Boninite, Chichijima,*Corresponding author: i.yuki1488@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福岡県飯塚市八木山産のアメサイトについて

一色優希・上原誠一郎(九大・理・地惑)

Amesite from Yakiyama, Izuka, Fukuoka Prefecture, Japan

Yuki Isshiki* and Seiichiro Uehara (Dept. Earth and Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.)

1. はじめに

蛇紋石は 1:1 型の層状珪酸塩鉱物で，円筒状構造のクリソタイル，波状構造のアンチゴライト，板状構造のリザーダイトの蛇紋石鉱物の族名として使用されている。理想化学組成は $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ で，一般に少量の Fe や Al を含むが，上記の理想化学組成に近いものが普通である。蛇紋石と固溶体の関係にある鉱物としてアメサイト$(Mg, Al)_3(Si, Al)_2O_5(OH)_4$ があり，中間的組成のものは Al 蛇紋石と呼ばれている。Al 蛇紋石は緑泥石と多形の関係にあり，低温相(準安定相)と考えられ，鉱物学的に重要である。しかし，それらの産出は比較的稀であり，詳細な鉱物学的記載は少ない。今回，福岡県飯塚市八木山の龍王山周辺の蛇紋岩に伴うロジン岩の構成鉱物を調査中に Al 蛇紋石及びアメサイトを確認し，それらの産状及び鉱物学的性質を検討した。さらに Shirozu (1958)により記載された兎山産の Al 蛇紋石の再検討も行った

2. 試料および実験

飯塚市八木山および周辺の地域で，蛇紋岩中のロジン岩の産状観察と構成鉱物の検討を行った。試料の肉眼及び双眼実体顕微鏡観察の後に X 線回折分析(Rigaku Ultima Ⅳ, Rigaku RINT RAPID Ⅱ)，偏光顕微鏡および走査電子顕微鏡観察(SEM-EDS: JEOL JSM-7001F)を行った。また、九州大学超顕微解析研究センターの TEM (JEOL JEM-3200FSK)を使用し微細組織観察を行った。

3. 結果

この 5 年間の野外観察では 11 箇点のロジン岩露頭を確認した。ロジン岩は緑簾石-斜灰簾石，方解石，灰礬柘榴石，緑泥石，トムソン沸石などの Ca や Al に富んだ鉱物で構成される。アメサイトを確認した露頭は 2 箇所で、産状は 2 つのタイプがある。ロジン岩の蛇紋岩との境界に近い部分に散在するもの(試料 No. Rod3)と脈状をなすもの（試料 No. Rod7）がある。試料 Rod3 では白色不透明の Al-蛇紋石と付随する形で薄茶色透明のアメサイトを含む。白色不透明部は Al_2O_3 = 22-23 wt%,で，結晶が非常に小さく(約 50-300 nm)，板状、円筒状を示す。X 線回析パターンは $6T_1$ ポリタイプとクリソタイルの混合物を示す。薄茶色透明部は Al_2O_3 = 24-32 wt%で化学組成が不均一である。X 線回折パターンは積層不整の多い $6T_1$ を示す。

兎山産の Al 蛇紋石はロジン岩中に幅 2 mm 程の緑色透明脈中に緑泥石を伴い産出する。兎山の試料は Al_2O_3 含有量が少なく，*c* 軸長が長い。今回の八木山産アメサイトは沸石鉱物と共存しており，兎山に比べさらに低温の生成物であろう。

Key word: amesite, Al-serpentine, serpentine, rodingite, low-temperature phase

Corresponding author: Isshiki.yuki.525@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

福岡県長垂山のコルンブ石族鉱物

伊東信（福岡県立糸島高）・上原誠一郎（九大・理・地惑）・白勢洋平(京大)

Columbite group minerals from Mt. Nagatare, Fukuoka Prefecture

Shin Ito (Itoshima HS), Seiichiro Uehara (Dept. Earth & Planet. Sci., Fac. Sci., Kyushu Univ.) and Yohei Shirose (Mus. Kyoto Univ.)

序　福岡県長垂山の Li ペグマタイトは，古くから記載鉱物学的研究 (柴田，1934 など) がなされ，リチア電気石やリチア雲母，コルンブ石など，多くの希元素鉱物が記載されてきた。しかし，Li ペグマタイトの周囲の複合ペグマタイト中の希元素鉱物について十分な鉱物学的研究は行われていない。本研究では，長垂山のペグマタイト露頭中の希元素鉱物の産状調査を行った。さらに，Li 鉱石貯鉱場跡から採取したコルンブ石族鉱物とともに，化学組成を分析し，分化の傾向について検討を行った。

産状　コルンブ石族鉱物は褐～黒色で金属光沢をもち，コルンブ石とタンタル石は肉眼的には区別がつかない。化学分析と X 線回折実験を行い、コルンブ石族鉱物について検討した。化学分析には走査電子顕微鏡(JSM-5800LV)を用いた。X 線回折実験には，Rigaku 製湾曲イメージングプレート X 線回折装置 RINT RAPID Ⅱ を用いた。

結果　野外調査の結果，Li ペグマタイトの露頭は確認出来なかったが，ペグマタイトの露頭８地点から大きさ 1～5 mm ほどのコルンブ石族鉱物の産出が確認された。化学分析の結果，周囲の複合ペグマタイトから産した試料からは、鉄コルンブ石，マンガンコルンブ石，鉄タンタル石が確認された（図１）。結晶のコアの部分は鉄コルンブ石組成の物が多く，Mn の濃度は Li ペグマタイトから産したものと比較して高くならない。一方，Li ペグマタイトから産した試料からは，マンガンコルンブ石，鉄コルンブ石，マンガンタンタル石が確認された。結晶のコアはマンガンコルンブ石組成の物が多く，Mn/(Mn+Fe)の値が Ta/(Ta+Nb)と比較して周囲の複合ペグマタイトに比べて大きく増加する傾向が見られた。この傾向は F に富む岩体に産するコルンブ石族鉱物に見られる(Černý et al. 1986)ことから、長垂の Li ペグマタイトも形成時に F に富む環境であったと考えられる。

Keywords: columbite, tantalite, Nagatare

*Corresponding author : ito-s@kyudai.jp

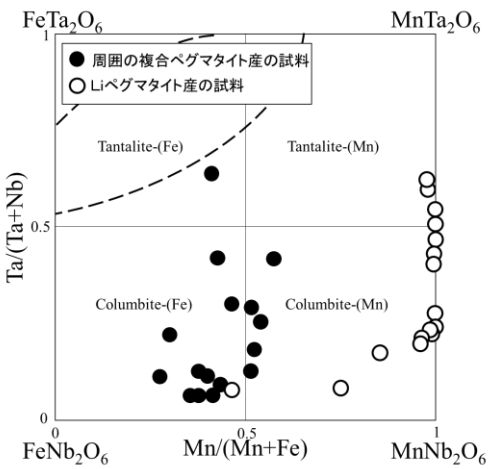


図 1　長垂山産コルンブ石族鉱物の四端成分図

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

山口県美祢市長登銅山烏帽子坑に産するコバルト鉱石

永嶌 真理子（山口大・創成科学), 井本 裕二, 森下 幸菜（山口大・理）

Occurrence of Co ores from the Eboshi deposit, the Naganobori copper mine, Yamaguchi, Japan

Mariko Nagashima*, Yuji Imoto, and Yukina Morishita (Faculty of Science, Yamaguchi Univ.)

Mineral assemblages and chemical compositions of skarn and ore minerals from the Eboshi deposit, Naganobori copper mine, Yamaguchi, Japan were investigated. The Co-rich ores are given in a special focus. The major ore minerals are cobaltite, chalcopyrite, and early stage pyrite (Py-I) and later stage pyrite (Py-II). Py-II is enriched in arsenic (~3.42 As wt.%). Bi-bearing minerals, such as native bismuth, bismuthnite, emplectite, wittichenite, are associated with cobaltite. Kawazulite and skutterudite-like phase are newly described. Ag-bearing minerals, such as matildite and hessite, also occur. The mineral assemblages and textures indicate that chalcopyrite and Py-I were formed in the early to middle stages; cobaltite, Py-II and Bi-bearing minerals were of the middle stage; and Ag- and Te-minerals were crystallized in the late stage.

山口県美祢市には長登銅山，大和鉱山などの銅スカルン鉱床が複数存在する(Kato, 1916ほか). 秋吉石灰岩分布域南東部に位置する長登銅山は日本最古の銅山のひとつで，なかでも烏帽子坑はヘデンベルグ輝石スカルンを主とする本銅山最大の鉱床であり，輝コバルト鉱の産出でも知られる. 烏帽子坑に産する鉱石鉱物およびスカルン鉱物の鉱物組合せや化学的特徴は永嶌・森下(2018)によって報告されたが，コバルト鉱石の検討は十分ではなかった. したがって，本研究はコバルト鉱石の記載学的研究を行い，コバルトの鉱化作用プロセスの解明を研究目的とした.

烏帽子坑鉱石の主要鉱石鉱物は黄銅鉱，黄鉄鉱，輝コバルト鉱である. また孔雀石，藍銅鉱などに加え，輝コバルト鉱を多く含む鉱石では二次鉱物としてコバルト華[$Co_3(AsO_4)_2 \cdot 8H_2O$]が産出する. 最も卓越したスカルン鉱物はヘデンベルク輝石で，輝石スカルンを構成するものは$CaFeSi_2O_6$ (Hd), $CaMgSi_2O_6$ (Di), $CaMnSi_2O_6$ (Jo)成分がそれぞれ98-91, 0-3, 2-8 mol.%であるが，珪灰石スカルン中に産するものは$Hd_{94-73}Di_{0-17}Jo_{4-12}$で相対的にMgや$Mn^{2+}$に富む. また灰鉄ザクロ石は$Ca_3Fe^{3+}{}_2Si_3O_{12}$, $Ca_3Al_2Si_3O_{12}$, $Mn_3Al_2Si_3O_{12}$成分がそれぞれ99-87, 0-12, 0-7 mol.%であり，光学異常を示さない. 加えて，珪灰鉄鉱，バビントン石が産し，いずれのスカルン鉱物も非常にFeに富むことが特徴である.

鉱物組み合わせおよび鉱石鉱物の産状より，早期～中期にかけて黄銅鉱，黄鉄鉱が晶出し，黄鉄鉱は砒素を含まない早期のPy-Iと砒素を含む中期のPy-II(< 3.42 As wt.%)に分類される. 輝コバルト鉱はPy-IIと同時期に含ビスマス鉱物(自然蒼鉛，輝蒼鉛鉱，エンプレクト鉱，ウィチヘン鉱など)とともに産する. 本研究では新たに河津鉱[$Bi_{1.95}(Te_{1.74}Se_{0.08}S_{1.18})_{\Sigma 3.00}$]やスクッテルド鉱様鉱物($Co_{0.93}As_3$)が見出された. また黄銅鉱晶出後の中期～後期に黄銅鉱外縁部に斑銅鉱が成長した. 後期の晶出ステージは，マチルダ鉱やヘッサイトなど含銀・テルル鉱物の晶出で特徴づけられるが，河津鉱が自然蒼鉛と共生していることからテルルの供給は銀よりも相対的に早いと推定される. 一部の鉱石中に不定形の銀濃集部が認められ，含銀鉱物の分解によって形成したと考えられる.

Keywords: Naganobori, copper, skarn, cobaltite
*Corresponding author: nagashim@yamaguchi-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

鹿児島県赤石鉱山における鉱床及び鉱床母岩の粘土鉱物

吉村拓哉・上原誠一郎（九大 理 地惑）

Clay mineralogy of the ore deposit and wall rocks from Akeshi mine, Kagoshima Prefecture, Japan

Takuya Yoshimura* and Seiichiro Uehara (Dep. Earth and Planet. Sci., Kyushu Univ.)

1. 緒言

鹿児島県南九州市にある赤石鉱山は，南薩摩型金鉱床に属する浅熱水性高硫化型鉱床(Hedenquist, 1987)で，徳永 (1954) や中村ら(1994) による鉱床学的研究がなされ，自然金と随伴鉱物が記載された．また，河野ら(1986)により赤石鉱山に近接する枕崎地区の粘土鉱物について，カオリナイト，緑泥石，混合層粘土鉱物などが報告された．しかし，赤石鉱山の鉱床と母岩変質帯の粘土鉱物についての詳細な鉱物学的研究は行われていない．本研究では，三井串木野鉱山㈱より提供された赤石鉱山の鉱石及び鉱床から母岩に達する 2 本の試錐(以下 H27-2-2 孔, H29-1-1 孔)中の粘土鉱物を調査した．

2. 実験方法

試錐から，黄鉄鉱を含む硬質な珪化帯と粘土化が進み，脆い特徴がある変質帯が確認され，この岩相が変化している部分(H27-2-2 孔; 深度 70 m – 90 m の 30 試料, H29-1-1 孔; 深度 90 m – 110 m の 19 試料)を選択し, X 線回折実験，電子顕微鏡観察，化学分析を行った．電子顕微鏡観察と化学分析には EDS を装着した SEM (JEOL 製 JSM-7001F), EPMA(JEOL 製 JXA-8530F)及び TEM(JEOL 製 JEM-3200FSK) を使用した．

3. 結果及び考察

両試錐を石英の量と構成鉱物で強珪化帯，弱珪化帯，粘土化帯，変質安山岩帯に分類した．H27-2-2 孔の変質安山岩帯では，Mg-Fe 緑泥石，カオリナイト，イライトが確認された．Mg-Fe 緑泥石は Mg : Fe 比がほぼ 1 : 1 で，I/S は白雲母寄りの組成を示した．Mg-Fe 緑泥石は I/S との共生関係を持ち，原岩の長石斑晶はカオリナイトとイライトに置換されていた．また，TEM 観察結果より，変質安山岩帯から緑泥石や I/S の積層構造も観察され，微細な方解石やジルコンが粘土鉱物とともに産することが確認された．

変質安山岩帯において，幅広い種類の粘土鉱物が確認されたことから，赤石鉱山およびその周辺について，成分の異なる熱水が複数回流入し，現在の環境が形成されたと推察される．

4. 謝辞

本研究で用いた試錐および鉱石試料は，三井串木野鉱山株式会社よりご提供いただき，野外調査にもご協力していただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

Keyword: Akeshi Mine, Gold deposit, Clay Minerals, Interstratified Clay Minerals

*Corresponding author: yoshimura.takuya@kyudai.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-16

鳥取県日南町日野上鉱山産のクインティン石（Quintinite）

石橋 隆*・山本佳弘・光田英彦（益富地学会館）・下林典正（京都大・院理）
渡部 茜・藤原 卓（益富地学会館）

Quintinite from Hinogami Mine, Nichinan Town, Tottori Prefecture, Japan

Takashi Ishibashi*, Yoshihiro Yamamoto, Hidehiko Mitsuda (Masutomi Mus. Geosci.), Norimasa Shimobayashi (Kyoto Univ.), Akane Watanabe, Takashi Fujiwara (Masutomi Mus. Geosci.)

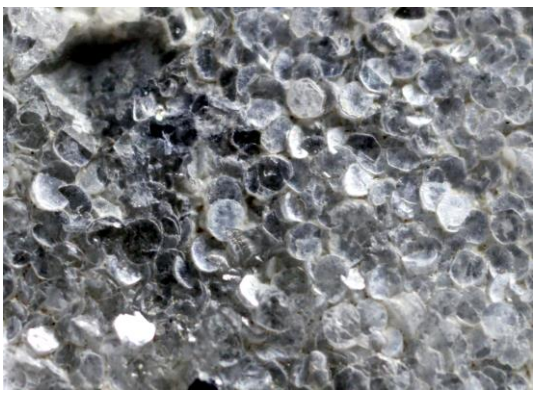
クインティン石（Quintinite）はマグネシウムとアルミニウムの含水炭酸塩鉱物で，理想化学組成は $Mg_4Al_2(OH)_{12}CO_3 \cdot 3H_2O$ で表される。本邦では，これまでに産出報告のない種であるが，日野上鉱山のクロム鉱床近傍の変斑レイ岩に伴ってクインティン石の産出が確認されたので報告する。

種名は，鉱物研究家の Quintin Wight に因む。模式的な産地および産状として，ブラジルの Jacupiranga 鉱山のカーボナタイト中に産するものや，カナダの Mont Saint-Hilaire, Poudrette 採石場のアルカリ複合岩体に産するものが知られ，他にも世界各地の 10 箇所ほどから報告されている。

本報告の産地，日野上鉱山は鳥取県日野郡日南町南西部に位置する。超苦鉄質岩体に胚胎するクロム鉱床のクロム苦土鉱などが採掘され，大正 12 年から昭和 38 年に休山に至るまで操業した。ズリ（排石捨場）が稲積山の北側の山腹に残されており，蛇紋岩や変斑レイ岩が多くみられる。

日野上鉱山産のクインティン石は，ズリの変斑レイ岩あるいは灰礬柘榴石を主体とするロディン岩様岩石の表面を覆って，0.1 mm 以下の六角薄板状結晶が皮膜状に集合体をなすもののほか（**図**），変斑レイ岩を切る脈で産し，空隙には最大 2 mm に達する六角短柱状結晶の群晶が認められる産状などがある。結晶は無色でガラス光沢がある。1 方向に顕著な劈開が発達し，破断面には真珠光沢が認められる。ハイドロタルク石と共存する。

X 線粉末回折値は ICDD 51-1525 のクインティン石との良い一致を示す．主要な回折値 [*d* in Å (*I*) *hkl*]は，7.63(100)003, 3.823(50)006, 2.572(20)222, 2.543(6)305, 2.290(20)225, 1.945(13)228, 1.524(8)600, 1.4952(6)603 などで，回折値から求められた格子定数（六方晶系）は，a = 10.563(3), c = 22.920(10) Å, V = 2214.6(15) Å^3 である．定量分析によって得られた Mg と Al の原子比（分析点の平均）は，Mg : Al ＝ 65 : 35 で，理想組成の 67 : 33 に近似し，同定にあたって矛盾はない．



図．日野上鉱山産 クインティン石
写真幅：左右約 5 mm

Keywords：quintinite, carbonate mineral, Hinogami mine, Nichinan Town, Tottori
*Corresponding author：t1484@d9.dion.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R1P-17

大阪大学総合学術博物館の鉱物標本

石橋 隆*（阪大総合学術博／益富地学）・伊藤 謙・橋爪節也
永田 靖（阪大総合学術博）・澤田 操（益富地学）

Mineral collection of Museum of Osaka University

Takashi Ishibashi*(Mus., Osaka Univ. / Masutomi Mus., Geosci.), Ken Ito, Setsuya Hashizume,
Yasushi Nagata (Mus., Osaka Univ.) and Misao Sawada (Masutomi Mus. Geosci.)

大阪大学総合学術博物館には約 500 種、総数は約 2,000 点の鉱物コレクション（以降、阪大標本）が収蔵されている。昭和初期から平成に至るまでの期間に亘って継続的に蒐集された鉱物コレクションで、研究や教育のために活用されてきたものである。標本は日本国内産のみならず海外各地の標本も含まれている。阪大標本は長らく未整理の状態であったが、2005 年頃より豊 遙秋博士（当時産業技術総合研究所地質標本館館長）によって初めて全面的に標本の調査、整理、登録、データベース化がなされ、近年のさらなる調査によってその全貌が明らかになった。阪大標本は年代で大きく分けて戦前に教育用として標本業者から購入されたものと、戦後に大阪大学の関係者から個人コレクションを寄贈されたものに大別される。

標本に付せられたラベルの情報から、それぞれの標本の由来についても調査された。戦前のものには大阪大学の前身である旧制大阪高等学校と旧制浪速高等学校の標本が存在する。これらには質の高い標本が多くあり、教育用とは考えにくく蒐集家から寄贈されたものの可能性もある。戦後のものは寄贈された標本が中心で、その中核は旧教養部の竹林松二名誉教授（1908－1994）と大阪帝国大学の教授を務めた槌田龍太郎教授（1903－1962）からの寄贈標本が 450 点以上あり、阪大標本全体の 20%に及ぶ。

これらの標本は、現在は大阪大学総合学術博物館の収蔵室（大阪大学会館）に保管されているが、近年ではごく一部が常設展示室に陳列されているほか、博物館学芸員資格取得のための実習などに供されてきた程度で、十分な活用がなされていなかった。現在、標本資料を活用するために不可欠な標本目録（冊子）の制作が進められている。

2018 年には、標本活用の試みの一環として、鉱物をテーマとした特別展『The Mineral World－人と鉱物のつむぐ物語－』（10 月 22 日－12 月 21 日）が開催された。展示は単に所蔵標本を陳列するのみではなく、人類の文明文化の発展と鉱物の活用の関わりや鉱産資源の未来を考える啓発を主軸としたテーマを設け、大阪大学の研究者による研究成果展示が設けられた（例：博物館の研究者による近代日本の鉱業や鉱石研究、本草学的石薬研究、木村蒹葭堂に代表される上方の本草学者と石に関する研究、更には大学院理学研究科の研究者による「はやぶさ」シリーズの小惑星探査による“石”の惑星科学的研究等）。また、阪大標本には阪大の主要キャンパスが位置する北摂産の鉱物や鉱石が多く含まれるために、地域の鉱業について地質の成り立ちと関連づけた啓発展示も行われた。展示会関連書籍として書籍として『鉱物―石への探求がもたらす文明と文化の発展―』（石橋・澤田・伊藤監修，2018，大阪大学出版会，96 総頁）も発行され，主要な阪大標本の写真とその概要についても収録されている。

Keywords : Mineral collection, Osaka University, Museum of Osaka University

*Corresponding author : t1484@d9.dion.ne.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

京都大学の鉱物標本 −比企鉱物標本−

白勢洋平（京大・博物館）・下林典正・高谷真樹（京大・院理）・
石橋隆（益富地学会館）・豊遙秋（東大・博物館）

“Hiki Mineral Collection”, mineral collection of Kyoto University

Yohei Shirose* (Univ. Mus., Kyoto Univ.), Norimasa Shimobayashi, Masaki Takaya (Grad. Sch. Sci., Kyoto Univ.), Takashi Ishibashi (Masutomi Mus. Geosci.), Michiaki Bunno (Univ. Mus., Univ. Tokyo)

京都大学総合博物館には，2 万点以上の鉱物・鉱石標本が所蔵されている。工学部より移管された京都帝国大学理工科大学採鉱冶金学科由来の「比企標本」，旧制第三高等学校由来の「三高標本」，農学部から移管された「農学部標本」からなる。中でも工学部由来の「比企標本」は，「和田標本」，「若林標本」，「高標本」といった 20 世紀初頭の日本の「三大鉱物標本」に勝るとも劣らないコレクションであり，蒐集当時は日本を代表する鉱物標本であった。しかしながら，比企の没後は関連分野の研究者にもその存在はほとんど認知されていなかった。2000 年の総合博物館の竣工に伴う移管後も，その全貌を知ることができない状態であった。2012 年に収蔵鉱物標本のデータベース化が計画され，「三高標本」に続き「比企標本」の調査・整理が行われた。その後，第 1 分冊として『京都大学総合博物館収蔵資料目録 第 5 号 比企鉱物標本 第一部 元素鉱物・硫化鉱物・ハロゲン化鉱物・酸化鉱物』（白勢ら，2019）として目録を刊行するに至った。本発表では現在調査・整理を行っている「比企鉱物標本」の特徴を報告する。

「比企標本」は，採鉱冶金学科教授であった比企忠（ひき ただす，1866-1927）が中心となって蒐集した 1 万点を超える鉱物・鉱石標本からなる。上述の目録（第一部）には元素鉱物・硫化鉱物・ハロゲン化鉱物・酸化鉱物として 2622 点（163 種）を収録しており，多様な鉱物種が含まれていることがわかる。比企標本には，輝安鉱や水晶の日本式双晶といった日本を代表する鉱物標本や，岡野隕石等の貴重な隕石標本も含まれている（Fig. 1）。また，蒐集当時は日本の金属鉱山の隆盛期でもあり，2000 点にも及ぶ品位の高い鉱石標本が，鉱物標本とは別に鉱山ごとに納められている。この中には日本を代表する鉱山が多く含まれ，鉱山の総数は 150 以上に達する。比企は当時鉱物学・鉱床学の最先端であったドイツをはじめとする諸外国から数多くの標本を取り寄せ，黎明期であった日本の鉱物学・鉱床学の発展に寄与した。多くの標本に比企の直筆のラベルが付されており，産地情報，蒐集者，採集年月日等が正確にわかるため，学術標本として大変重要な価値を持つ。ほとんどの金属鉱山が閉山した現在の日本では，資源工学的研究や鉱物学的研究を行う上でこれらの資料は欠かせない存在である。



Fig. 1 Photographs of stibnite from the Ichinokawa mine, Japanese twin quartz from the Otome mine, and Okano meteorite (hexahedrite).

Keywords: Hiki Mineral Collection, Tadasu Hiki, Kyoto University, Mining and metallurgical department

*Corresponding author: shirose.yohei.6n@kyoto-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

九州大学の鉱物標本

上原誠一郎*(九大・理・地惑)・白勢洋平(京大・博物館)・伊藤泰弘(九大・博物館)

Mineral collection of Kyushu University

Seiichiro Uehara* (Kyushu Univ.), Yohei Shirose (Kyoto Univ.) and Yasuhiro Ito (Kyushu Univ.)

1. はじめに

九州大学の鉱物学は工学部採鉱学科で始まり、その後、農学部、理学部地質学科、旧教養部地学教室などで教育研究の一分野として行われた。自然科学において標本観察と野外観察は教育研究の原点で、これらの標本は鉱物学、地質学、博物館関連の授業や研究で現在も活用されている日本で一番と自負できる教材でもある。今回は九州大学収蔵の鉱物標本の中から日本の鉱物学黎明期に活躍した三人の学者が蒐集した標本を紹介する。

2. 九州大学の鉱物標本

『高標本』は日本産の鉱物結晶の標本を主体とし、その数は 160 種、約 1200 点になる。和田標本（三菱マテリアル所蔵)、若林標本（東京大学所蔵）と共に 20 世紀初頭の日本の三大鉱物標本の一つにあげられる学術的に極めて貴重な資料である。明治 44 年から昭和 4 年まで工学部採鉱学教室の教授であった高壮吉が蒐集した標本で、昭和 14 年理学部に地質学教室（現在、地球惑星科学教室）が創設された際に譲渡され、当時は本部事務局 2 階に展示されていた。その後 6 回の移転があり、平成 30 年 9 月に旧工学部本館 2 階に移転し、収蔵展示されている。

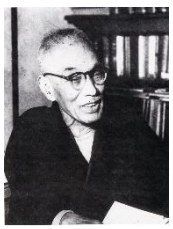
『岡本標本』は工学部講師の岡本要八郎によって福岡県と長崎県の鉱物調査のために蒐集されたもので、その成果は、『福岡縣鑛物誌』(1944)と『長崎県鉱物誌』(1958)として出版された。当時の日本新産種、現在では入手できない標本が数多く含まれる。点数は約 1200 点。

『吉村標本』は昭和 17 年から昭和 44 年まで理学部地質学教室鉱物学講座を担当した吉村豊文の標本である。学生や他の教員とともに終始一貫して、日本のマンガン鉱床の研究を行い、『日本のマンガン鉱床』3 部作（総頁数は 1571 頁）を著した。そこに記載された鉱石鉱物からなる国内外最高のマンガン鉱物標本である。先生によって発見された新種の鉱物、轟石や原田石の他、先生に因んで命名された新種『吉村石』など学術的に貴重な標本が含まれ、点数は約 3200 点。

これを含めた 1 万点を超える九州大学の鉱物標本の将来の保存先は未定である。



高 壮吉
(1869-1946)



岡本 要八郎
(1876－1960)



吉村 豊文
(1905-1990)

Key word: Kyushu University, Mineral collection, Ko collection, Okamoto collection, Yoshimura collection.

Corresponding author: uehara@geo.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Poster presentation | R3: High-pressure science and deep Earth's material

Sun. Sep 22, 2019 9:30 AM - 3:00 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 12:30 AM - 6:00 AM UTC | A-presentation space East zone 1

R3: High-pressure science and deep Earth's material

[コアタイム] 12:00〜14：00

[R3P-01] Determination of the noble gas partition coefficients between metal and silicate melts under high-pressure and high-temperature conditions

*Tomotaka Tanaka[1], Satoshi Kishi[1], Hirochika Sumino[1], Hideharu Kuwahara[2], Ryuichi Nomura[3], HIroyuki Kagi[4], Kenji Mibe[5] (1. Univ of Tokyo. arts and sci., 2. Geodynamics Research Center, Ehime Univ., 3. Human and Environmental Studies., Kyoto Univ., 4. Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo., 5. Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo)

[R3P-02] Reaction rates of hydrous mineral and iron under high pressure

「発表賞エントリー」

*Tatsuro Hatakeyama[1], Masayuki Nishi[1], Tetsuo Irifune[1] (1. Ehime Uni. GRC.)

[R3P-03] First-principles prediction of hydrogen partitioning between the core and mantle

「発表賞エントリー」

*Atsuroh Ohba[1] (1. Ehime Uni. GRC)

[R3P-04] Al-Si substitution in Phase Egg and Al-rich new high-pressure hydrous phases

「発表賞エントリー」

*Goru Takaichi[1], Masayuki Nishi[1], Youmo Zhou[1], Shinichi Machida[2], Tetsuo Irifune [1] (1. Ehime Uni GRC, 2. CROSS)

[R3P-05] high pressure hydrous phase e-AlOOH

*Masayuki Nishi[1], Yasuhiro Kuwayama[2], Jun Tsuchiya[1] (1. Ehime Univ., GRC, 2. Tokyo Univ., Sci.)

[R3P-06] Phase transition of ScOOH under high pressure

Yoshiaki Ito[1], Osamu Ikeda[1], Taito Kubota[1], Tatsuya Sakamaki[1], Takahiro Kuribayashi[1], *Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Uni.)

[R3P-07] P-V-T equation of state of δ-AlOOH to 6.5 GPa and 500K

Taito Kubota[1], Yoshiaki Ito[1], Ryuji Watanabe[1], Seiji Kamada[2], Takahiro Kuribayashi[1], *Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Univ., Sci., 2. Tohoku Univ., FRIS)

[R3P-08] Effect of CO_2 on the viscosity of soda melilite melt under high pressures and high temperatures

*Akio Suzuki[1] (1. Tohoku Uni.)

[R3P-09] GHz ultrasonic measurement in DAC: Summary and future perspective

*Akira Yoneda[1] (1. IPM, Okayama Univ.)

[R3P-10] Sound velocity and Mossbauer spectroscopy measurements of FeH_2

*Daijo Ikuta[1], Eiji Ohtani[1], Naohisa Hirao[2], Takaya Mitsui[3], Satoshi Nakano[4], Hiroshi Uchiyama[2], Satoshi Tsutsui[2], Alfred Q. R. Baron[5] (1. Dept. Earth Sci., Tohoku Univ., 2. JASRI, 3. QST, 4. NIMS, 5. RIKEN)

[R3P-11] Rheology of the subducted slab in the lower mantle

*Shintaro Azuma[1,2], Ryuichi Nomura[3,4], Kentaro Uesugi[5], Yu Nishihara[4], Shunta Doi[4], Takeshi Arimoto[4], Tetsuo Irifune[4] (1. Tokyo Tech, 2. Kyushu Univ, 3. Kyoto Univ, 4. Ehime Univ, 5. JASRI/SPring-8)

[R3P-12] Olivine-Spinel transition under uniaxial deformation - the condition of shear instability

*Mori Yuichiro[1] (1. Kyushu Univ., Sci)

[R3P-13] Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

*Yu Itami[1], Satoru Urakawa[1] (1. Okayama Uni. Sci.)

[R3P-14] Synthesis of nano-polycrystalline diamond (NPD) from stearic acid and characterization of its microtexture

*Hideaki Kawamura[1], Hiroaki Ohfuji[2] (1. Graduate School of Science and Engineering, Ehime University, 2. Geodynamics Research Center, Ehime University)

[R3P-15] Incorporation of Ga^{3+} into $CaTiO_3$ perovskite

*Nagai Takaya[1], Masaki Ohguro[1], Naoki Takakura[1], Toru Inoue[2], Toru Shinmei[3] (1. Hokkaido Uni. Sci., 2. Hiroshima Uni. Sci., 3. Ehime Uni. GRC)

高温高圧条件下での金属–ケイ酸塩メルト間の希ガス分配係数の実験的決定

田中友崇*, 貴志智, 角野浩史（東大・総合文化）, 桑原秀治（愛媛大 GRC）, 野村龍一（京大・院人間）, 鍵裕之（東大・院理）, 三部賢治（東大・地震研）

Determination of the noble gas partition coefficients between metal and silicate melts under high-pressure and high-temperature conditions

T. TANAKA*, S. KISHI, H. SUMINO（Dept. Basic Sci., Univ. Tokyo）, H. KUWAHARA（GRC, Ehime Univ.）, R. NOMURA（Grad. Sch. Human., Kyoto Univ.）, H. KAGI（Grad. Sch. Sci., Univ. Tokyo）, K. MIBE（Earthquake Research Institute, Univ. Tokyo）

1. 背景

地球内部の希ガスの同位体比は、地球形成時の始源的成分とウランやトリウムからの放射壊変起源成分の混合により支配されている。大気のヘリウム同位体比 $^3He/^4He$ の値を $1R_A$ として規格化するとマントルの $^3He/^4He$ は $8R_A$、マントル最深部の $^3He/^4He$ は $50R_A$ を示す。地球深部ほど始源的な希ガス同位体比（$120\ R_A$）に近い値を示す事から核が始源的な希ガスを保持している事が示唆されている[1]。そこでマントルの主成分であるケイ酸塩と核の主成分である鉄への希ガス分配実験が行われた[2,3]。しかしそれらの結果は整合的ではなく、核が始源的な希ガスのリザーバーになり得るのかは未だに分かっていない。そこで本研究ではより天然に近い濃度で正確な分配係数を出す事を試みた。

2. 実験手法

本研究ではマルチアンビル高圧発生装置を用いて、高温高圧条件下（3 万～6 万気圧、1700℃程度）でサンプルを合成した。SEM-EDS、顕微ラマン分光、EPMA を用いて試料を観察した後、金属相とケイ酸塩ガラスそれぞれに含まれる希ガスの濃度を、紫外レーザーアブレーション装置と超高感度希ガス質量分析計を用いて求めた。

3. 実験結果

今回の実験では 3GPa～6GPa まで 1GPa ごと 4 サンプルを合成した。得られた希ガス濃度から鉄とケイ酸塩間の分配係数を求め、先行研究[2]と比較した結果を図 1 に示す。今回得られた 5GPa における分配係数は先行研究[2]のトレンドと調和的であった。

[1] Porcelli and Halliday., EPSL.,2001. [2] Matuda.*et al.*,Science.1993. [3] Bouhifd *et al.*,Nature Geoscience.2013.

Keywords: noble gas, partitioning coefficients, high pressure, high temperature

*Corresponding author: sirokuma0310@igcl.c.u-tokyo.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高圧下における含水鉱物と鉄の反応速度

畑山達郎（愛媛大 GRC），西真之（愛媛大 GRC），入舩徹男（愛媛大 GRC）

Reaction rates of hydrous mineral and iron under high pressure

Tatsuro Hatakeyama（GRC,Ehime Univ.）, Masayuki Nishi（GRC,Ehime Univ.）,
Tetsuo Irifune（GRC,Ehime Univ.）

水と岩石の反応生成物である含水鉱物の一部はプレートの沈み込みにより地球内部のマントルへ運ばれる。近年の研究により超高温高圧条件下で熱力学的に安定な含水鉱物が複数発見されており、深さ 2900 ㎞の核マントル境界までの水輸送の可能性が示唆された。また、含水鉱物によりマントル最下部に到達した水が地球深部の物質に及ぼす影響として、マントル物質の部分溶融や水の溶融鉄への溶け込み、新たな含水層の形成などが議論されている。

上記の現象は地震波により観測される核マントル境界の地震波超低速度領域の成因となり得るため、高温高圧下での含水鉱物と中心核の構成物質である鉄の相互作用は、水の循環だけでなく地球内部構造とその進化への知見となる可能性がある。しかしながら、上記の反応が地質学的時間スケールにおいてどの程度の空間的規模で進行するかについての情報は得られていない。

本研究の目的は、高温高圧下における含水鉱物－鉄の反応の機構と速度を実験により解明し、核マントル境界における水と鉄の挙動を議論することである。

実験にはマルチアンビル型高圧発生装置 MADONNAIIを使用した。出発物質の含水鉱物(AlOOH, FeOOH)と Fe を Au 製のカプセル内に重ねて配置し、25 GPa・1050-1380 K の条件で加熱保持した。回収試料は表面を研磨し、走査型電子顕微鏡を用いて、反応帯組織の観察と化学組成の分析を行った。

すべての回収試料において、含水鉱物と鉄の間に FeO を含む反応帯が形成された(2AlOOH＋3Fe → Al_2O_3＋FeO＋2FeH)。反応帯の幅 ΔX が時間の 0.5 乗に比例($\Delta X \propto t^{0.5}$)しており、酸素と水素の拡散律速による成長が示された。また、得られた活性化エンタルピーから、本反応における成長速度を定式化した。さらに、圧力依存性を推定する homologous temperature scaling による外挿計算の結果から、核マントル境界の熱境界層において数十キロメートル規模の FeO の生成反応が可能であることが示された。

この結果は、もし核－マントル境界付近に水が存在した場合、水成分が鉄に吸収され、FeO に富む鉱物が形成されることを示唆する。鉄に富む鉱物や融点降下にともなう部分溶融物質は、核マントル境界の地震波超低速度領域の物性を説明可能である。

Keyword：core-mantle boundary, Ultra low velocity zones, wustite,atomic diffusion;

*Corresponding author：fctatsuro1029@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-03

核-マントル間における水素分配の第一原理的予測

大場篤朗*, 土屋卓久(愛媛大・GRC)

First-principles prediction of hydrogen partitioning between the core and mantle

A. Ohba*, T. Tsuchiya (Ehime Univ.GRC)

1. はじめに

水素は太陽系内で最も豊富に存在する元素であり、外核の密度欠損(Birch, 1956)を補う軽元素の候補の一つである。そのため、外核内の軽元素の制約や地球内部における水循環の解明のために、高温高圧下における鉄-ケイ酸塩間の水の分配実験が行われた(Okuchi, 1997; Iizuka-Oku et al., 2016; Clesi et al., 2018)。結果として、これらの実験によって推定された鉄-ケイ酸塩間の水素の分配先は異っており、鉄-ケイ酸塩間における水素の分配特性は依然として明らかにされていない。そこで本研究では、第一原理計算を用いた Xiong et al. (2018)と同様の手法に基づき、核-マントル境界条件下での液体鉄-溶融ケイ酸塩間における水素の分配先の推定を行った。

2. 計算方法

本研究では、

$(16MgSiO_3 + H_2O) + 50Fe$
$\Leftrightarrow 16MgSiO_3 + (50Fe + H_2O)$ (1)
$(16MgSiO_3 + H_2O) + 50Fe$
$\Leftrightarrow (16MgSiO_3 + FeO) + (50Fe + 2H)$ (2)

で表される二つの反応を考えた。(1)式は鉄-ケイ酸塩間における水分子の交換反応であり、(2)式は Okuchi (1997)、Iizuka-Oku et al. (2016)、Clesi et al. (2018)で報告された水の酸化還元反応である。化学平衡時の反応系と生成系の量比は両系間のギブス自由エネルギーG の差で決定される。そのため、各項が持つ G を計算することによって、反応のギブス自由エネルギー$\Delta G = G$(右辺) - G(左辺)を求め、平衡定数 K_D=exp(-$\Delta G/k_BT$)、及び分配係数 D_H =H wt%$_{鉄}$/H wt%$_{ケイ酸塩}$を決定した。自由エネルギーの計算には、熱力学積分法(Kirkwood, 1935; Meijer et al., 1990)を用いた。熱力学積分法は参照系から対象となる系への自由エネルギー差を求めることが可能な方法である。本研究では Taniuchi and Tsuchiya (2018)、Xiong et al. (2018)と同様にして、解析的に自由エネルギーの計算が可能な理想気体を参照系として採用し、参照系から第一原理系までの一段階の熱力学積分を行った。

3. 結果

計算によって得られた(1)式及び(2)式の ΔG 、K_D、D_H はそれぞれ表のようになった。結果として、(1)式の水分子の交換反応、(2)式の水の酸化還元反応どちらの場合でも水素は鉄側に比べてケイ酸塩側により多く分配され、(1)式右辺の状態は(2)式右辺の状態よりも自由エネルギーは小さいことが分かった。現在は液体鉄の組成効果を調べるため、液体鉄の組成を純鉄から酸素濃度を増加させたものに置き換えて計算を行っている。

	ΔG (Ry)	K_D	D_H
(1)式	6.30.E-02	1.37.E-01	2.14.E-01
(2)式	2.18.E-01	1.01.E-03	1.86.E-02

Keyword：first-principles calculation, thermodynamics integration, hydrogen-partitioning, core-mantle boundary

*Corresponding author: ohbaatsuroh@gmail.com

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Al-Si 置換型 Phase Egg および Al に富む未知含水高圧相

高市合流*（愛媛大 GRC）、西真之（愛媛大 GRC）、周佑黙（愛媛大 GRC）
町田真一（総合科学研究機構）、入舩徹男（愛媛大 GRC）

Al-Si substitution in Phase Egg and Al-rich new high-pressure hydrous phases

Goru Takaichi* (GRC, Ehime univ), Masayuki Nishi (GRC, Ehime univ),
Youmo Zhou (GRC, Ehime univ), Shinichi Machida (CROSS), Tetsuo Irifune (GRC, Ehime univ)

結晶構造中に OH 基を含む含水鉱物は、プレートの沈み込みにより多量の水成分を地球内部に運ぶことが知られている。超高圧下で熱力学的に安定とされる Phase D や Phase H といった高密度型含水マグネシウムケイ酸塩鉱物群(DHMS)は、1200 度を超える高温下で脱水分解するため、その存在は非常に冷たい沈み込みプレートに限られる。しかしながら、Phase Egg ($AlSiO_4H$)や Aluminous phase D ($Al_2SiO_6H_2$)といったアルミニウムを多く含む含水鉱物は 1500℃以上の高温でも分解せずに安定であり、地球深部における水のホストとして注目されている。特に Phase Egg はダイヤモンド包有物として発見されており、その相関係を知ることはマントル深部の水輸送を理解する鍵となる可能性がある。本研究は、Phase Egg や Aluminous phase D の安定性および相関係を詳しく理解することを目的として、Al_2O_3-SiO_2-H_2O 系の高圧相平衡実験を行った。

高圧実験は川井式マルチアンビル型高圧発生装置（Orange-2000）を用いた。出発試料として、α-AlOOH と SiO_2 の粉末混合体を用いた。回収試料は微小部 X 線回折装置(XRD)や走査型電子顕微鏡（FE-SEM）を用いて結晶構造の推定および化学組成の分析を行った。

マントル遷移層―下部マントル領域の温度圧力条件下で Al/Si 比が異なる様々な組成の含水鉱物が回収された。22 GPa, 2000 K の条件下で合成された $Al_{1.43}SiO_{4.86}H_{1.43}$ 組成の含水鉱物の X 線回折パターンは、Phase Egg ($AlSiO_4H$)のものと一致した。このことは Phase Egg 結晶中の $Si^{4+} = Al^{3+} + H^+$の置換を示唆する。また、$Al_2SiO_6H_2$ と $AlSiO_4H$ を張り合わせた高温高圧実験により得られた拡散プロファイルから、Phase Egg は上記置換により Al/Si=1.0~1.7 の広い組成幅を持つことが明らかとなった。

その他、Al/Si 比の異なる新規含水鉱物を回収した。これらの含水鉱物の X 線回折パターンは Phase Egg や Aluminous phase D と一致しない。また、これらの化学組成は温度に敏感であり、Phase Egg と同様、ある程度組成幅を持つと考えられる。発表では安定領域と構造を含めて報告する。

Keywords : High pressure, Hydrous minerals, Phase Egg ;

*corresponding author:d310126h@mails.cc.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

マルチメガバールの新含水高圧相ε-AlOOH

西真之（愛媛大 GRC），桑山靖弘（東京大），土屋旬（愛媛大 GRC）

New high pressure hydrous phase ε-AlOOH

Masayuki Nishi* (GRC, Ehime Univ.), Yasuhiro Kuwayama (Tokyo Univ.),
Jun Tsuchiya (GRC, Ehime Univ.)

Based on in-situ X-ray diffraction experiments in a laser-heated diamond anvil cell as well as first principles calculations, we found that δ-AlOOH transforms into a new phase with orthorhombic symmetry, named ε-AlOOH, at ε-190 GPa. Some hydrous phases remain stable beyond pressures found in the Earth's core-mantle boundary and hydrogen may thus be stored in these hydroxides or their potential high-pressure forms in the deep interiors of terrestrial super-Earths, and the rocky cores of some ice giants.

水素は宇宙で最も豊富に存在する元素であり、惑星内部の進化や構造に多大に影響を及ぼしてきたと考えられる。含水鉱物は地球内部における重要な水の貯蔵形態の一であり、含水鉱物が安定に存在できる温度圧力条件(安定領域)を知ることは、地球内部の水の循環機構を知るための手掛かりとなる。

近年下部マントルの温度圧力条件下で熱力学的に安定な含水鉱物が複数見つかっており、最下部マントルへの水の輸送や中心核物質との化学反応が議論さている。本研究では、地球最下部マントルより高い圧力下における含水鉱物の安定性を高温高圧実験により調べた。

出発物質は愛媛大学のマルチアンビル型高圧発生装置により合成したδ-AlOOHおよび $CaCl_2$型 (Fe,Al)OOH多結晶体を用いた。高温発生と試料の構造の決定はSPring-8のBL10XUのファイバーレーザーと放射光X線回折測定により行った。得られた金の格子体積から圧力を算出した。

182 GPa, 2500 K以下の温度圧力条件において、δ-AlOOHの安定性が確認された。192 GPa, 2500 Kでは、新たなX線回折ピークの出現が確認された。このピークは最近理論予測されたAlOOHの新構造(*Pbca*, Verma et al., 2018)により説明可能である。(Fe,Al)OOH組成の出発物質を使用した場合、パイライト型構造が出現した。このような広い含水鉱物の安定領域は、地球だけでなく太陽系外のスーパーアースや巨大氷惑星の内部構造や水の存在形態に影響する可能性がある。

Key words: Extra-solar planets; hydroxide; water
*Corresponding author: nishi@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高圧力下における ScOOH の相転移

伊東義章，池田理，窪田平海，坂巻竜也，栗林貴弘，鈴木昭夫*（東北大・理）

Phase transition of ScOOH under high pressure

Yoshiaki ITO, Osamu IKEDA, Taito KUBOTA, Tatsuya SAKAMAKI, Takahiro KURIBAYASHI, Akio SUZUKI (Tohoku Univ.)

InOOH 構造となる $M^{3+}OOH$ 酸化水酸化物の圧力誘起相転移を調べることは重要である。例えば、InOOH 構造を有するδ-AlOOH は下部マントル条件で安定な含水相で、地球深部まで水を運ぶ可能性がある（Sano et al., 2008）。AlOOH は diaspore から InOOH 構造の δ-AlOOH、パイライト型 AlOOH へと圧力に対して相転移すると考えられている（Tsuchiya and Tsuchiya, 2011）。FeOOH については、diaspore 構造の goethite から InOOH 構造の ε-FeOOH、パイライト型の構造への相転移が確かめられている（Nishi et al., 2017; Hu et al., 2017）。一方、ScOOH については、170 atm 以下・350℃以下の条件で diaspore 構造の α-ScOOH、8 GPa・500℃で InOOH 構造、10 GPa 超・400℃で YbOOH 構造が確認されている（Christensen and Jensen, 1967; Christensen, 1971; Bendeliani et al., 1973）。しかし、ScOOH の相境界は調べられていない。$M^{3+}OOH$ の相転移について新たな知見を得るため、InOOH 構造の高圧相が YbOOH 構造という特徴がある ScOOH の相転移境界を試料急冷法と放射光その場観察実験から明らかにした。

試料急冷法をバイエルン地球科学研究所に設置の Hymag プレス、Sumitomo プレス、Zwick プレスを用いて行った。2 GPa から 14 GPa、700 K または 800 K の条件で 1 時間保持後、急冷して回収した。回収試料に対して角度分散型粉末 X 線回折装置（Bruker D8 Advance）を用いた相の同定を行った。

放射光 X 線その場観察実験を、高エネルギー加速器研究機構のビームライン NE5C 設置の高圧発生装置 MAX-80 および NE7A の MAX-IIIを用いて、3 GPa から 10 GPa の圧力で行った。ScOOH 粉末と NaCl 粉末を体積比 1:1 で混合した試料を出発物質として用いた。NaCl の状態方程式から圧力を算出し、W3%Re-W25%Re 熱電対で測温した。X 線回折データは Ge 半導体検出器を用いてエネルギー分散法で取得した。目標圧力まで加圧後、時分割測定しながら昇温して回折パターンの変化から安定相を確かめた。

試料急冷法と放射光その場観察実験の結果から、α-ScOOH から InOOH 構造に相転移する境界がおよそ 5 GPa、InOOH 構造から YbOOH 構造に相転移する境界がおよそ 10 GPa であることを明らかにした。

Keywords: hydrous mineral, ScOOH, InOOH, YbOOH

*Corresponding author: akio.suzuki.c5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

δ-AlOOH の P-V-T 状態方程式

窪田平海・伊東義章・渡邉隆二・鎌田誠司・
栗林貴弘・鈴木昭夫*（東北大学・理）

P-V-T equation of state of δ-AlOOH to 6.5 GPa and 500K

Taito Kubota, Yoshiaki Ito, Ryuji Watanabe, Seiji Kamada,
Takahiro Kuribayashi and Akio Suzuki* (Tohoku univ.)

１． はじめに

δ-AlOOH は Suzuki et al.(2000)によって見つかった高圧含水相である。diaspore(α-AlOOH)の高圧多形であり、130GPa までの広い安定領域を持つことから、地球のマントルへの水素キャリアとしての候補鉱物と考えられている含水鉱物の１つである。発見以来、多くの興味を引きつけられ、δ-AlOOH に関する実験が行なわれてきた。しかし、その多くは室温での実験であり、温度変化を考慮した実験は行なわれていなかった。

本研究では外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用い、300～500K までの範囲の温度で粉末 X 線回折を行い、そのデータから P-V-T 状態方程式を決定した。

２． 実験

外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用い、ガスケットにはレニウム、圧媒体にはダフニーオイル 7474 を用いた。圧力は、試料である δ-AlOOH と共に NaCl を混合し、NaCl の X 線回折のフィッティングから決定を行なった。粉末 X 線回折パターンは KEK, Photon Factory の BL-18C のビームラインで測定を行なった。測定に使用した X 線の波長は 0.62 Å で、回折した X 線はイメージングプレートによって検出した。

圧力は最大 6.5GPa までで、温度は 50K 間隔で測定した。2GPa 以下の圧力では 300K から昇温させながら、2GPa 以上の圧力では一度 500K まで昇温させた後、降温させながらデータの採取を行なった。

３． 結果

300～500K の温度範囲で 17 点の X 線回折パターンを得た。

得られたデータについて、状態方程式へのフィッティングは EoSFit7-GUI プログラム (Gonzalez-Platas et al., 2014)、EoSFit7c プログラム(Angel et al., 2014)を用いた。得られたデータに基づき、二次の Birch-Murnaghan 状態方程式でフィッティングを行ない、常温常圧での体積(V_0)、300K での体積弾性率(K_{T_0})、常圧での体積熱膨張率(α_0)に関して以下の結果が得られた。

$V_0 = 56.557(17)$ Å

$K_{T_0} = 162(3)$ GPa

$\alpha_0 = 1.0(3) \times 10^{-5}\ K^{-1}$

Keywords: hydrous mineral, δ-AlOOH, P-V-T equation of state

*Corresponding author: akio.suzuki.c5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

高温高圧下における Soda melilite メルトの粘度に及ぼす CO_2 の効果

鈴木昭夫*（東北大学）

Effect of CO_2 on the viscosity of soda melilite melt under high pressures and high temperatures

Akio Suzuki* (Tohoku Univ.)

Soda melilite, $CaNaAlSi_2O_7$, is an end member of natural melilite, and melilite is a solid solution of åkermanite, gehlenite and soda melilite. The NBO/T ratio of the soda melilite composition is 0.67, which is close to that of basaltic magma. Therefore, liquid soda melilite has been used as a model basalt melt. The main goal of our study is to determine the effect of dissolving carbon dioxide on the viscosity of silicate melts at high pressure. It has been known that volatiles are dissolved in natural magmas and affects the physical properties. However, very few studies have been performed to investigate the effect of carbon dioxide on the viscosity of silicate melts at mantle pressures. In the present study, the viscosity of carbon-dioxide bearing $NaCaAlSi_2O_7$ composition melts have been determined up to 5 GPa. Viscosity was calculated using the Stokes equation with the correction of wall effect. The movement of a metallic sphere in a sample chamber was recorded in X-ray radiography image. We have used this technique to determine the pressure, temperature and compositional dependence of the viscosity of silicate melts. A charge coupled device (CCD) camera with a YAG:Ce fluorescence screen was used to obtain the X-ray absorption contrast image. Experiments under high pressures and high temperatures has been conducted using the MAX-III apparatus installed at the AR-NE7A station at the High Energy Accelerator Research Organization (KEK) in Tsukuba, Japan. Brealey and Montana (1989) measured the viscosity of melt with soda melilite composition at high pressure using the falling sphere method based on the quenching experiment. They reported that no detectable change in viscosity was observed in sodium melilite melt with the addition of 2 wt% CO2. In this study we adopted the in situ falling sphere method using the X-ray radiography technique. We show that dissolved carbon dioxide decreases the viscosity of soda melilite melt, however, the effect on the viscosity of soda melilite melt is much smaller than that of jadeite melt, which reported previously (Suzuki, 2018).

Keywords: soda melilite, viscosity, carbon dioxide, high pressure, synchrotron radiation

*Corresponding author: akio.suzuki.c5@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-09

GHz-DAC 音速法の開発：ここまでの総括と今後の展望

米田　明（岡山大惑星研）、小林真一郎、鎌田誠司（東北大理）

GHz ultrasonic measurement in DAC: Summary and future perspective

DACで加圧された試料の弾性測定法としてレーザー光を用いるブリルアン散乱法が広く用いられてきたが、①不透明試料の測定ができない、②高圧下で試料のP波ピークがダイヤモンドのS波ピークに埋もれてしまう、等の問題がある。ブリルアン散乱法の欠点を解決するためにGHz-DAC法の開発を2011年頃から開始した。紆余曲折を経て、2017年にDAC中試料の音速測定に成功した[1]。今回、これまでの開発状況を紹介するとともに、今後の研究の展望に力点をおいて発表を行う。

図1はGHz-DAC音速法の概念図である。バッファロッドをアンビル背面に押し付けて、GHz超音波を試料部へと伝達する。

本構成の実験システムでKClとハワイ産のオリビンのP波速度測定を実施した。P波シグナルや試料長の評価法については発表にて詳細を説明する。

P波測定と並行して、S波バッファロッドの開発も行った。斜め入反射する弾性波のP-S変換現象を応用している。図2に立方晶のYAG結晶で作成したS波バッファロッドの製作過程を示した。既にDACセルからのS波シグナルも確認できており、GHz法による V_P, V_S同時測定の展望が開けた。

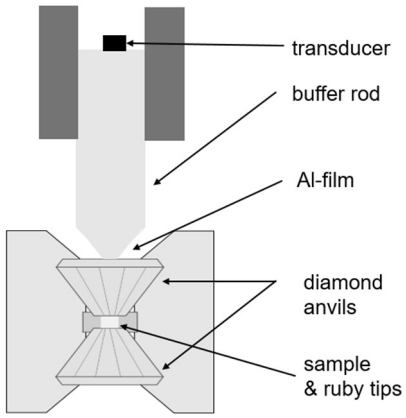


図 1　GHz-DAC 音速法の概念図

今後は、GHz音速法の強みを活かし、以下に示すようなブリルアン散乱法では不得手な鉄含有試料の測定を行なっていく。

(1)20 GPaまでの純鉄
(2)50 GPaまでの含鉄ブリッジマナイト。
(3)100 GPaまでの高Fe数フェロペリクレース

(2,3) では鉄の高スピン低スピン転移領域でのGHz超音波測定を実施する。

本研究では大学院生の小林による貢献が大きかった。若手の新鮮な感覚はGHz開発において重要な役割を果たしている。今後も大学院生と協力して、GHz法研究を迅速に進展させていきたい。

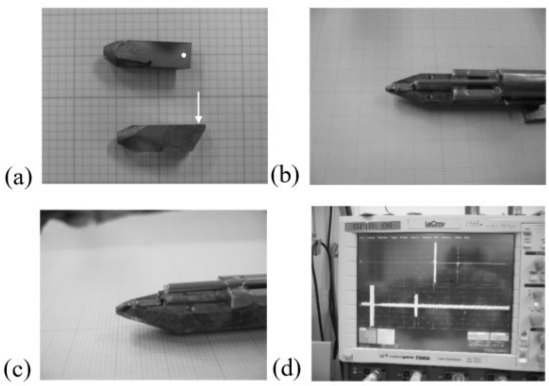


図 2　S 波バッファロッドの製作。(a)斜面をつけた YAG 結晶。白点・白線は電極点を示す。(b,c)同軸ケーブル装着の様子。(d)オシロスコープによる S 波発生の確認。

文献[1]高圧力の科学と技術（日本高圧力学会誌）29巻2号（2019）

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

鉄水素化物高圧相 FeH_2 の音速及び磁性測定

生田 大穣*（東北大・理・地学），大谷 栄治（東北大・理・地学），
平尾直久（JASRI），三井隆也（量研），中野智志（NIMS），
内山裕士（JASRI），筒井智嗣（JASRI），バロン アルフレッド（理研）

Sound velocity and Mossbauer spectroscopy measurements of FeH_2

Daijo Ikuta* (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.), Eiji Ohtani (Dept. Earth Sci., Tohoku Univ.),
Naohisa Hirao (JASRI), Takaya Mitsui (QST), Satoshi Nakano (NIMS),
Hiroshi Uchiyama (JASRI), Satoshi Tsutsui (JASRI), Alfred Q. R. Baron (RIKEN)

The Earth's core has supposed to be constituted by iron-nickel alloys with some light elements such as sulfur, oxygen, carbon, silicon and hydrogen. Hydrogen is one of the most convincing candidates among those light elements. In Fe-H system, FeH_x ($0 \leqq x \leqq 1$) composition that takes bcc, fcc, and dhcp phases have been studied. Recently, FeH_2, FeH_3, and FeH_5 phases that contains much hydrogen were reported at high pressure conditions of the Earth's core. The physical properties of these high-pressure phases of Fe-H are important as the constituent of the Earth's core and giant planets that are composed mainly of hydrogen. However, the physical properties of these high-pressure phases of Fe-H compounds have not been measured yet. In this study, we report the sound velocity and magnetic property of FeH_2 that measured by inelastic x-ray scattering and Mossbauer spectroscopy, respectively.

地球核はニッケルを 10%前後含む鉄-ニッケル合金を主成分として、幾つかの軽元素を含んでいる構造と推定され、中でも水素は、地球核を構成する軽元素の有力な候補の一つと考えられている。

Fe-H 系においては、FeH_x 組成($0 \leqq x \leqq 1$)の bcc 相、fcc 相そして dhcp 相が知られていたが、近年 FeH_2 相、FeH_3 相、そして FeH_5 相等の水素を多く含有する相が、地球核に相当する高圧において報告されている。これらの Fe-H 系に出現する高圧相の物性は、地球核を構成している可能性のある物質としても、また、水素が大半を占めると考えられる木星型惑星の内部構成物質としても、地球惑星科学的に重要な情報である。しかしながら、これらの Fe-H 系の高圧相の音速や磁性等の物性については実験的な測定が存在しておらず、現状では未解明である。

本研究では、Fe-H 系における高圧相の FeH2 相の音速を非弾性 X 線散乱法によって、磁性をメスバウア分光法によって測定した結果を報告する。

Keywords: FeH_2, Sound velocity, Mossbauer spectroscopy, High pressure
*Corresponding author: dikuta@tohoku.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-11

下部マントルに沈み込んだスラブ内レオロジー

東真太郎*（東工大, 九州大）， 野村龍一（京都大, 愛媛大）, 上杉健太朗（JASRI/SPring-8）, 西原遊, 土居峻太, 有本岳史, 入舩徹男（愛媛大）

Rheology of the subducted slab in the lower mantle

Shintaro Azuma*(Tokyo Tech. Kyushu Univ), Ryuichi Nomura (Kyoto Univ. Ehime Univ), Kentaro Uesugi(JASRI/SPring-8), Shunta Doi, Takeshi Arimoto, Tetsuo Irifune(Ehime Univ.)

1. Introduction

The rheological properties of lower-mantle materials are key to understanding the dynamics and evolution in the Earth's interior. However, the pressure range of deformation apparatuses which can achieve large strain is limited to ~30–40 GPa due to a technical reason. We developed the rotational diamond anvil cell (rDAC) which can conduct deformation experiments with large strain under ultra-high pressure conditions (~300 GPa), corresponding to those of core [Nomura et al., 2017; Azuma et al., 2018]. In this study, we conducted the deformation experiments of lower-mantle materials using the rDAC.

2. Experiments

In this study, the mixture of bridgmanite $(Mg,Fe)SiO_3$ and ferropericlase (Mg,Fe)O, which was synthesized from San Carlos olivine, was deformed under torsion geometry using the rDAC. The experimental conditions are ranging 26–130 GPa, 300–1073 K. Starting material was grooved by FIB and the groove was deposited by Pt as a strain-marker. Recovered samples were cut by FIB to observe the deformation microstructures in each cross-section. Deformation experiments were conducted at BL47XU, SPring-8 (Japan) and 3D visualization of strain marker within samples was performed every rotation angle of upper anvil of 5–30 degree using X-ray laminography technique [Nomura and Uesugi, 2016]. Stress was measured by collecting X-ray diffraction pattern at twelve different azimuthal angles, Ψ= 0º, ±30º, ±60º, ±90º, ±120º, ±150º, and 180º.

3. Results

The geometry of strain-marker in cross-section of deformed samples show nearly simple shear (or general shear). Deformed microstructure of recovered samples was observed using FE-SEM and we determined the 2D surface area of ferropericlase and aspect ratio of bridgmanite. The deformation microstructures of the recovered samples showed that ferropericlase highly deformed and formed an interconnected weak layer. On the other hand, the aspect ratio of bridgmanite did not change with the strain, indicating that bridgmanite has high viscosity compared with ferropericlase. These results imply that ferropericlase dominates the deformation in the regions where large shear strain occurs under relatively low-temperature conditions in the lower mantle (e.g., mantle portion in subducted slabs).

Stress in bridgmanite was estimated by using diffraction peaks (110) and (112). Equivalent stress of bridgmanite was higher than that of ferropericlase. Equivalent stress of ferropericlase is relatively constant with strain, whereas that of bridgmanite shows the strain weakening during experiments. This experiment was performed under relatively low-temperature (<1073K) and high-pressure conditions, thus the equivalent stress in bridgmanite and ferreopericlase was about three times higher than that in previous studies [e.g., Girard et al., 2016].

Key words: rDAC, bridgmanite, ferropericlase, lower mantle, rheology

*Corresponding author: shintaro.azuma@eps.sci.titech.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

一軸圧縮変形場におけるオリビン―スピネル相転移実験 剪断不安定化条件の解明へ向けて

森悠一郎*[1], 久保友明[1], 今村公裕[1], 山内幸子[1], 小泉早苗[2], 西原遊[3]
鈴木昭夫[4], 肥後祐司[5], 丹下慶範[5]
([1]九大理,[2]東大地震研, [3]愛媛大 GRC, [3]東北大理, [4]JASRI)

Olivine-Spinel transition under uniaxial deformation – the condition of shear instability

Y. Mori*[1], T. Kubo[1], M. Imamura[1], S. Yamauchi[1], S. Koizumi[2], Y. Nishihara[3], A. Suzuki[4], Y. Higo[5]
Y. Tange[5] ([1]Kyushu Univ.,[4]ERI, Tokyo Univ.,[3]GRC, Ehime Univ.,[3]Tohoku Univ.,[4]JASRI.)

1. はじめに

脆性-塑性転移を超えた深さ 300-700 km の深発地震には準安定オリビンの非平衡相転移が関連していると長年指摘されてきたが、そのメカニズムは未だわかっていない。我々は高温高圧下でオリビンの変形と相転移を同時に行って、その挙動を放射光その場観察した。また、acoustic emission(AE)測定からせん断不安定化が生じる条件を探っている。ここでは一軸圧縮変形場におけるフォルステライト及びファイヤライトの変形―相転移実験の予備的結果を報告する。

2. 実験方法

出発物質には、ファイヤライト(Fe_2SiO_4) 粉末およびフォルステライト(Mg_2SiO_4)多結晶体を用いた。前者では SPring-8 BL04B1 に設置の D-DIA 型高圧変形装置に MA6-6 型セルを、後者では KEK PF-AR NE7 設置の D-111 型装置に KAWAI 型セルを組み込んで、一軸圧縮変形場におけるオリビン－スピネル相転移実験を行った。ともに入射 X 線には 50-60 keV の放射光単色 X 線を用い、約 4-5 分毎に 2 次元 X 線回折とラジオグラフィー測定を行っている。

また、D-DIA 型装置を用いたファイヤライトの相転移実験では 6 個の 2 段目アンビルそれぞれの底面に圧電素子を貼付け、AE 活動のモニタリングを行っている。

両方の実験ともに、常温加圧後、低圧相の安定領域において焼きなましを行った。その後、高圧相の安定領域まで加圧し、上下アンビルを変位速度 200-400 μm/h で変形させながら一定速度で昇温し(0.1-0.2 K/s)、一軸圧縮変形場における相転移実験を行った。

3. 実験結果と考察

ファイヤライトを用いた実験ではまだ定量的な解析ができていないが、昇温変形中にスピネル相(ahrensite)が増えるにしたがい、試料付近からの AE が多数観測された。しかしこれまでの実験では変形開始の前段階でスピネル相がすでに出現しており相転移初期のプロセスが捉えられていない。今後はオリビンからスピネルが出現する初期段階にも注目し、過剰圧・昇温速度・変形速度に依存した剪断不安定化条件を探る予定である。

一方、フォルステライトの実験では、変形昇温中に 17-21 GPa, 1000-1200 °C の条件でスピネル相(ringwoodite)が出現し、過剰圧が大きいほど低温で相転移が開始する傾向が見られた。歪の時間進化(Fig. 1)を見ると、昇温前の歪速度が $6\times10^{-6}s^{-1}$~$2\times10^{-5}s^{-1}$で、昇温後には $3\times10^{-5}s^{-1}$~$8\times10^{-5}s^{-1}$ に上昇しており、昇温もしくは相転移が変形を促進した可能性がある。

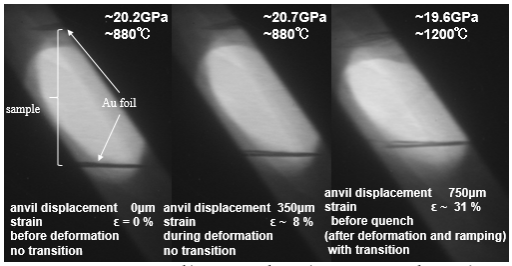


Fig.1 X-ray radiography images showing uniaxial deformation during the olivine-spinel transformation in Mg_2SiO_4.

両実験ともに、今後、オリビンおよびスピネル両相から応力を推定し、相転移や AE 発生にともなう応力変化を明らかにする。また、KAWAI 型セルに 8 個の圧電素子を取り付け D-111 型変形装置に組み込む準備を行っており、フォルステライトの変形相転移実験においても AE 測定を目指す。

Keywords: deep earthquake, olivine, transformation, deformation, acoustic emission
*Corresponding author: mori.yuichiro.727@s.kyushu-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Fe-Ni-S-C 系の溶融関係と超深部起源ダイヤモンドの生成条件

伊丹　佑（岡山大・院自然），浦川　啓（岡山大・院自然）

Melting relations of the Fe-Ni-S-C system and the formation of superdeep diamonds

Yu Itami* (Okayama Uni. Sci.), Satoru Urakawa (Okayama Uni. Sci.)

天然に産するダイヤモンドの多くは深さ150-200 kmの上部マントル内で生成する。しかし，包有物の研究からより深いマントルに由来する超深部起源ダイヤモンドの存在も近年では多数報告されている。Smith et al.（2016）は，超深部起源ダイヤモンドの一つであるCLIPPIRダイヤモンドの包有物中に固化したFe-Ni-S-Cメルトを発見し，このダイヤモンドがマントル遷移層まで沈み込んだスラブの上面で鉄合金メルトから生成したと考えた。本研究ではマントル遷移層でのダイヤモンド生成条件を明らかにすることを目的として，Fe-Ni-S-C系の高温高圧急冷実験を15 GPaで行った。

高温高圧実験は川井型マルチアンビル装置を用い，15 GPa，900-1700 Kの条件で行った。出発組成は深さ450 km（15 GPa）のマントルに存在する合金の化学組成（Rohrbach and Schmidt, 2011）に基づき，Ni / (Ni+Fe) = 0.52（質量比）に固定している。急冷回収試料は研磨して組織観察とEPMAによる定量化学分析を行った。また，ラマン分光法によりダイヤモンド同定を行った。

15 GPaでは1400 K以上でダイヤモンドがFe-Ni-S-Cメルトと共存する。1400 K未満では液相は炭化物[$(Fe,Ni)_3C$, $(Fe,Ni)_7C_3$]と共存する。ダイヤモンドと共存する液相の最大炭素溶解度は硫黄濃度の上昇に伴い減少するが，硫黄濃度が12 wt.%を超えると増加に転じる。マントル中の炭素含有量を考慮すると，15 GPaではダイヤモンドと共存する液相の硫黄濃度が約5-15 wt.%の範囲にあるとき炭素が過飽和となり鉄合金メルトからダイヤモンドが析出する。

上部マントル（6, 8 GPa）では，ダイヤモンドと共存する液相の最大炭素溶解度は硫黄濃度の増加に伴い減少し続ける（Tsuno and Dasgpta, 2015）。つまり，液相の硫黄濃度が高いほどダイヤモンド生成は容易となる。一方，我々の結果はマントル遷移層ではダイヤモンド生成が容易となる硫黄濃度範囲が存在することを示す。深さ450 kmのマントルの温度は約1700 Kであり，一般的なマントル遷移層ではFe-Ni-S-Cメルトからダイヤモンドが生成され得る。一方，沈み込んだスラブ上面の温度は1700 Kよりもかなり低いと考えられている。そのため，スラブ内ではFe-Ni-S-Cメルトからのダイヤモンド生成は困難である。

Keywords: superdeep diamond, mantle transition zone, the Fe-Ni-S-C system

*Corresponding author: p7uf594q@s.okayama-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

ステアリン酸からのナノ多結晶ダイヤモンド合成とその微細組織観察

川村英彰*，大藤弘明（愛媛大 GRC）

Synthesis of nano-polycrystalline diamond (NPD) from stearic acid and characterization of its microtexture

Hideaki Kawamura*, Hiroaki Ohfuji (GRC, Ehime Univ.)

We performed a series of high-pressure and high-temperature experiments using multi-anvil apparatus and found that yellowish NPD-like diamond was obtained from a decomposition product of stearic acid under high pressure and high temperature conditions. Recovered samples was observed by TEM to characterize the microtexture of diamond synthesized from stearic acid. The formation temperature of this diamond is about 800℃ and significantly lower than that of previous NPD from graphite. Thus, its formation mechanism may be different from that by direct conversion of graphite.

1. はじめに

高温高圧下でのグラファイトからの直接変換によって合成されるナノ多結晶ダイヤモンド（NPD)（Irifune et al., 2003）は，優れた硬度と高い透光性を有することから様々な用途へ応用されている．最近，我々は出発物質にステアリン酸（$C_{18}H_{36}O_2$）を用いた場合，従来（12－25 GPa，2000－2500℃）よりも大幅に低温条件（800℃～）で黄褐色で透光性を有する NPD 様のダイヤモンドが生じることを偶然見出した．本研究では，このステアリン酸から合成される NPD 様ダイヤモンドの合成と，その微細組織・結晶学的特徴について報告する．

2. 実験手法

高圧実験には 2000 t マルチアンビル装置を使用し，出発物質としてステアリン酸あるいはステアリン酸とマグネサイトを層状に重ねて Pt カプセル中に封入した．圧力温度条件は 10 GPa および 17 GPa，800－1400℃で行い，回収試料の分析は顕微ラマン分光，微小部 XRD，SEM-EDS，TEM-EDS を用いて行った．TEM 観察のための薄膜断面試料の作成には FIB を使用した．

3. 結果と考察

ステアリン酸とマグネサイトを詰めた実験では，ステアリン酸封入側に透光性を有する黄褐色の物質が確認された．微小部 XRD 分析の結果，非常にブロードなダイヤモンドの回折線が観察され，極めて細粒で純粋なダイヤモンドより構成されることが分かった．この部分から FIB で作成した薄膜試料の TEM 観察を行ったところ，粒径<5～20 nm ほどのダイヤモンドで構成されることが明らかとなった．電子線回折ではスムーズなリングパターンを示すことから，ナノダイヤ粒子はランダムな方位で集合していると言える．

一方，ステアリン酸のみを出発物質とした場合，回収試料は白色でほとんど透光性を示さなかった．TEM 観察の結果，マグネサイトを共存させた実験の回収試料と同様に 20 nm 以下の極めて細粒なダイヤモンドよりなるが，0.2～10 μm ほどの空隙が多数含まれることが分かった．それらの空隙は，ステアリン酸が分解した際に生成すると考えられる H_2O や CH_4 などの揮発性成分が流体あるいは固体の形でダイヤモンドと共存していたことを示唆する．現在，低温条件におけるステアリン酸からのナノ多結晶ダイヤモンドの形成メカニズムの理解へ向けて更なる検討を行っている．

Keywords: Nano-Polycrystalline Diamond (NPD), High pressure, C-H-O fluid, TEM
*Corresponding author: kawamura@sci.ehime-u.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

R3P-15

$CaTiO_3$ペロブスカイトへのGa^{3+}の固溶について

永井隆哉*・大黒正貴・髙倉直樹（北大院理）
井上徹（広大院理），新名亨（愛媛大 GRC）

Incorporation of Ga^{3+} into $CaTiO_3$ perovskite

Takaya NAGAI*・Masaki OHGURO・Naoki TAKAKURA (Hokkaido Univ.)
Toru INOUE (Hiroshima Univ.), Toru SHINMEI (Ehime Univ.)

Incorporation of Ga^{3+} into $CaTiO_3$ perovskite at high pressure was investigated. Synthesis experiments at high pressures were performed at the GRC, Ehime University (This work was supported by the Joint Usage/Research Center PRIUS.). Incorporation of Ga^{3+} into $CaTiO_3$ perovskite occurs in the $CaTiO_3$-$CaGaO_{2.5}$ system. The system shows the eutectic relation and the eutectic temperature seems to be below 1200℃ even at 15 GPa. Solid solubility of the $CaGaO_{2.5}$ component in $CaTiO_3$ perovskite at 1200℃ is ca. 10 mol% at 1 atm, ca. 40 mol% at 5 GPa, ca. 20 mol% at 10 and 15 GPa. A large solubility of the $CaGaO_{2.5}$ component at 5 GPa may be related to the stability of $CaGaO_{2.5}$ phase with the brownmillerite-type structure.

我々は下部マントル鉱物学の重要な課題であるブリッジマナイトへの 3 価の陽イオンである Al の固溶の問題について，アナログ鉱物 $CaTiO_3$ ペロブスカイトを使ってアプローチを行っている。今回は，Ga^{3+}の固溶について報告する。

大気圧下での合成実験は，北海道大学で高温マッフル炉を用いて実施し，高圧下（5, 10, 15 GPa）では，PRIUS 共同利用研究のサポートの下，愛媛大学 GRC において川井型マルチアンビル式超高圧発生装置を用いて実施した。高圧実験におけるアンビルは TEL8 mm，圧媒体は一辺 14 mm のものを用いた。また，5, 10 GPa の実験ではグラファイト，15 GPa では $LaCrO_3$ をヒーター材として用いた。回収試料は，XRD と SEM-EDS 分析で評価を行った。

$CaTiO_3$ペロブスカイトへのGa^{3+}の固溶は，圧力によらずGa^{3+}がTi^{4+}を置換する様式，すなわち酸欠損を生じる $CaTiO_3$-$CaGaO_{2.5}$ 系として起こり，固溶相は直方晶系のペロブスカイト構造として説明可能であった。また，この系は共融関係にあり，共融温度は 15 GPa においても 1200℃ 以下であった。Ga^{3+}の固溶量の圧力変化は，$CaGaO_{2.5}$ 成分として，大気圧下では約 10 mol%であったが，5 GPa では約 40 mol%と急増した。しかし，さらに高圧下 10, 15 GPa では約 20 mol%と減少した。

今回の結果は，Ga^{3+}が大気圧下では 4 配位を好むこと，また，Ga^{3+}の半分が 6 配位，半分が 4 配位のブラウンミラライト型構造を持つ $CaGaO_{2.5}$ 相が大気圧下では存在しないこと，さらに，少なくとも 2.5 GPa 付近の圧力下では $CaGaO_{2.5}$ 相が安定となること（Kahlenberg & Shaw, 2001）などと関係しているかもしれない。すなわち，10, 15 GPa でGa^{3+}の固溶量が減少したことは，4 配位のGa^{3+}を有する $CaGaO_{2.5}$ 相がその圧力下では安定でなくなることを意味している可能性がある。

Keywords: $CaTiO_3$, $CaGaO_{2.5}$, perovskite, brownmillerite, solid solution
*Corresponding author: nagai@sci.hokudai.ac.jp

@Japan Association of Mineralogical Sciences.

Various Committees

Sun. Sep 22, 2019 12:00 PM - 12:30 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 3:00 AM - 3:30 AM UTC | Lecture Ia Lecture

新鉱物・命名・分類委員会

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

新鉱物・命名・分類委員会

Various Committees

Sun. Sep 22, 2019 12:00 PM - 12:30 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 3:00 AM - 3:30 AM UTC | A-117 East zone 1

研究発表優秀賞選考委員会

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

研究発表優秀賞選考委員会

Closing Ceremony

Sun. Sep 22, 2019 3:30 PM - 4:15 PM JST | Sun. Sep 22, 2019 6:30 AM - 7:15 AM UTC | Lecture Ia Lecture

クロージングセレモニー

3:30 PM - 4:15 PM JST | 6:30 AM - 7:15 AM UTC

クロージングセレモニー