

Fri. Sep 20, 2019

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

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

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

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

*Yuuki Hagiwara¹, Junji Yamamoto² (1. Hokkaido Uni. Sci., 2. Hokkaido Uni. Museum.)

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

*Mayumi Mujin¹, Michihiko Nakamura¹, Megumi Matsumoto¹ (1. Tohoku Univ. Sci.)

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

*Seiji Maruyama¹ (1. KFT)

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

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

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

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

*Ryosuke Oyanagi¹, tatsu kuwatani¹, katsuhiko suzuki¹ (1. JAMSTEC)

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

*Yamato Tateishi¹, Toshio Nozaka¹ (1. Okayama Univ.)

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

*Takayuki Nakatani¹, Michihiko Nakamura² (1. AIST, 2. Tohoku Univ., Sci.)

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

*Takuo Okuchi¹, Narangoo Purevjav¹, Yusuke Seto², Naotaka Tomioka³, Kaoru Shibata⁴, Takeshi Yamada⁵ (1. Okayama Univ. IPM, 2. Kobe Univ., 3. JAMSTEC, 4. JAEA, 5. CROSS)

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

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

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

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

*Shunichiro Nozokido¹, Takahiro Kuribayashi¹, Toshiro Nagase² (1. Tohoku Uni.Sci., 2. Tohoku Uni.Mus.)

[R2P-02] Preparation of Cs⁺ and Er³⁺ exchange forms of GTS-type Na titanosilicate and their cation distributions

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

[R2P-03] Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite(Na₂SO₄ • 10H₂O)

*Ryutaro Ikeda¹, Atsushi Kyono¹ (1. Tsukuba Uni.Life and Environmental Sciences.)

[R2P-04] Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite

*Mitsuyoshi Kurita¹, Toshiro Nagase¹, Takahiro Kuribayashi¹, Hiroyuki Imai² (1. Tohoku Uni. Sci., 2. Kinseki zoukei studio)

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

「発表賞エントリー」

*Shintaro Niiyama¹, Reiko Simura², Kazumasa Sugiyama³ (1. Tohoku Univ. , 2. IMRAM, Tohoku Univ., 3. IMR, Tohoku Univ.)

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

*Ibuki Kinebuchi¹, Yoshinari Sano¹, Atsushi Kyono¹ (1. Univ Tsukuba. Life.)

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

「発表賞エントリー」

*Ryo Sugaya¹, Masahiko Sato¹, Toshihiro Kogure¹ (1. Univ. Tokyo, Sci.)

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

*Koichi Takeuchi¹, Kazumasa Kisu², Seiichiro Uehara³, Yoshihiro Kuwahara⁴, Akira Ohwada⁵, Masaharu Takebe⁶ (1. Non, 2. Ceramic Research Center of Nagasaki, 3. Kyushu Univ. Sci., 4. Kyushu Univ. S. C. S., 5. AIST, 6. Tsuchihashi mining Co.)

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

「発表賞エントリー」

*Kohei Chiba¹, Eriko Ohshima², Misaki Takahashi³, Kazumasa Sugiyama⁴ (1. NIT Ichinoseki Col., Adv. Chem. Eng., 2. NIT Ichinoseki Col., Dept. Eng. Fut. Innov., Div. Chem. Eng. & Bio., 3. NIT Ichinoseki Col., Dept. Chem. Eng., 4. Tohoku Univ., IMR)

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

*Masao Kitamura¹, Kiiko Katsuno², Toshiharu Irisawa³ (1. Non, 2. Seikei Univ., 3. Gakushuin Univ.)

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

「発表賞エントリー」

*chihiro kaino¹ (1. Tohoku Uni. Sci.)

[R2P-12] Electronic state of pyrite structure

*Ruka Yoneyama¹, Fumiya NORITAKE^{2,3} (1. University of Yamanashi,Eng., 2. University of Yamanashi, 3. RIKEN)

Poster presentation | R5: Extraterrestrial materials

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

R5: Extraterrestrial materials

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

*Megumi Matsumoto¹, Akira Tsuchiyama^{2,3}, Akira Miyake⁴, Naotaka Tomioka⁵, Motoo Ito⁵, Yu Kodama⁶, Junya Matsuno⁴, Masahiro Yasutake², Aiko Nakato⁷, Kentaro Uesugi⁸, Akihisa Takeuchi⁸, Tsukasa Nakano⁹, Epifanio Vaccaro¹⁰ (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG/CAS, 4. Kyoto Univ., 5. JAMSTEC, 6. Marine Works Japan, 7. JAXA/ISAS, 8. JASRI/SPRing-8, 9. GSJ/AIST, 10. NHM in London)

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

*Ryo Uehara¹, Yoshihiro Kuwahara², Kazuhiko Shimada⁴, Yoshihiro Nakamura³, Seiichiro Uehara⁴, Tatu Adachi⁵ (1. Kyushu Uni. ISGS., 2. Kyushu Uni. SCS., 3. Kyushu Uni. Mus, 4. Kyushu Uni. Sci, 5. Kyushu Uni. Arch)

Poster presentation | R8: Metamorphic rocks and tectonics

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

R8: Metamorphic rocks and tectonics[R8P-01] Mineralogical Heterogeneity of *UHP* garnet peridotite in the Bohemian Massif, Czech Republic*Juliah Wangari Muriuki¹, Daisuke Nakamura¹, Takao Hirajima², Martin Svojtka³ (1. Okayama Uni., 2. Kyoto Uni., 3. Institute of Geology CAS)

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

「発表賞エントリー」

*Yu Oikawa^{1,2}, Daisuke Nakamura¹, Takao Hirajima², Tomoaki Morishita³, Akihiro Tamura³, Hajime Yamane¹ (1. Okayama Uni. Sci., 2. Kyoto Uni. Sci., 3. Kanazawa Uni. Sci.)

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

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

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

*Shunji TOJO¹ (1. Fukuoka Kyoiku Daigaku)

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

*Tomoharu Miyamoto¹ (1. Kyushu University)

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

*Shoichi Toh¹, Tomoharu Miyamoto² (1. Fukuoka Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. Sci.)

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

*Sotaro Baba¹, Yasuhito Osanai², Nobuhiko Nakano², Tomokazu Hokada³, Tatsuro Adachi², Tsuyoshi Toyoshima⁴ (1. University of the Ryukyus, Edu., 2. Kyushu University, 3. National Institute of Polar Research, 4. Niigata University, Sci)[R8P-08] **Corundum and quartz inclusions in pelitic gneiss from Sør Rondane Mountains, East Antarctica***Tomokazu Hokada^{1,2}, Yasuhito Osanai³, Nobuhiko Nakano³, Tatsuro Adachi³, Tsuyoshi Toyoshima⁴, Sotaro Baba⁵ (1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University of Advanced Studies, 3. Kyushu University, 4. Niigata University, 5. University of the Ryukyus)[R8P-09] **Geology of the eastern Dronning Maud Land, East Antarctica: Missing link to Sri Lanka**Kazuyuki Shiraishi¹, *Tomokazu Hokada^{1,2}, Yoshikuni Hiroi^{1,3}, Yoshihumi Nogi^{1,2}, Yoichi Motoyoshi^{1,2} (1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University of Advanced Studies, 3. Chiba University)

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

*Ippei Kitano¹, Yasuhito Osanai¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹ (1. SCS, Kyushu Univ.)

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

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari¹, Yasuhito Osanai¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Nugroho Imam Setiawan² (1. Kyushu University, 2. Universitas Gadjah Mada)

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

「発表賞エントリー」

*Fumihiko Sato¹, Kaushik Das¹ (1. Hiroshima Uni. Grad. Sci.)

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

*Jun-ichi Ando¹, Naotaka Tomioka², Hiroyuki Kagi³, Takehiro Hirose² (1. Hiroshima Univ., 2. Kochi Core Center, 3. Univ. Tokyo)

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

*Yuki Iwasaki¹, Jun-ichi Ando¹, Das Kaushik¹, Dyuti Prakash Sarkar¹, Seiichiro Uehara², Hiroaki Ohfuji³ (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. Kyushu Uni., 3. Ehime Uni.)

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

*Yoshihiro Nakamura¹ (1. AIST)

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

*Shunsuke Endo¹, Hiroshi Yoshida¹ (1. Shimane Univ.)

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

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

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

[コアタイム] 12:00~14 : 00

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

*Yuuki Hagiwara¹, Junji Yamamoto² (1. Hokkaido Uni. Sci., 2. Hokkaido Uni. Museum.)

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

*Mayumi Mujin¹, Michihiko Nakamura¹, Megumi Matsumoto¹ (1. Tohoku Univ. Sci.)

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

*Seiji Maruyama¹ (1. KFT)

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

萩原雄貴（北海道大・院理），山本順司（北海道大・総博）

Size-dependent residual pressure of fluid inclusion in mantle xenolith

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

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

流体・メルト包有物の CO₂ 濃度や密度はマグマ供給系の構造や、岩石の由来深度、噴火前のマグマの揮発性成分濃度の推定に利用されてきた。包有物がホスト鉱物に捕捉された時の初期情報は弾塑性変形や脆性破壊、流体の拡散、流体とホスト鉱物間の反応などにより、地表への露出過程や実験中に上書きされる可能性がある。実際、鉱物種や包有物の径に依存した流体の組成や圧力の系統的变化が報告されている。しかし、マントル捕獲岩中の流体包有物の研究は限られている。

そこで本研究では、包有物からマントル流体の情報をより正確に復元するために、マントル捕獲岩中の流体包有物の残留圧力を測定し、ホスト鉱物種や包有物の径との関係を調査した。流体の圧力は CO₂ のラマンスペクトルの 2 つの主なピークの波数差が圧力に依存することを利用した。また、流体包有物のサイズはデジタル顕微鏡で輝度の差から抽出した。その結果以下の 3 つの知見を得た。

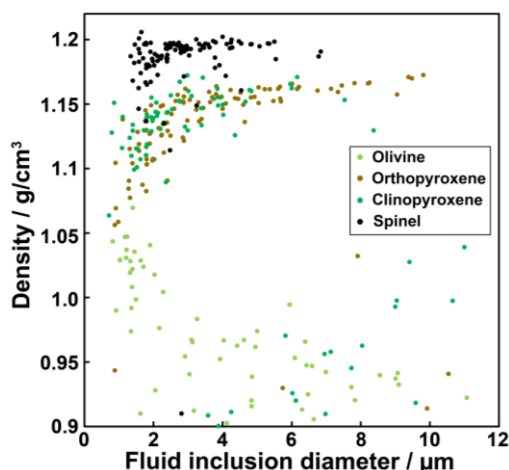


図 1 流体包有物の密度のサイズ依存性。

- 1) 流体圧はスピネル>直方輝石=単斜輝石>かんらん石の順で高圧を保持している。
- 2)スピネル・単斜輝石・直方輝石の残留圧力は包有物の径が小さい程低圧になる。
- 3) 逆に、かんらん石の残留圧力は包有物の径が小さい程高圧になる。

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

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

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

珪酸塩メルト中での金属粒子の結晶成長その場観察

無盡真弓*, 中村美千彦, 松本恵 (東北大・地学)

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

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

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

【方法】加熱実験のその場観察はFE-SEM下でProtochips社のAduro加熱ステージを用いて行い、二次電子および反射電子像の観察を行った。出発物質には、ほとんど結晶を含まない桜島火山の大正噴火軽石を用いた(石基ガラス $\text{SiO}_2=70$ wt%, Otsuki et al., 2015)。加熱用のMEMSチップに載せられる試料の大きさは約20 μm 四方である。そこで軽石を瑪瑙乳鉢で粉砕し、エタノールを用いて石基ガラスをチップに固定する方法と、集束イオンビーム(FIB)を用いてガラス片を作製し、Ptデポジションによってチップに固定する方

法を行った。室温から10°C/sで加熱し、1-4.5時間850-1050°Cで温度を保持した。

FE-SEMの加速電圧は10-15kV、高真空度(9.6×10^{-5} Pa)と低真空度(60Pa)の条件で実験を行った。実験後はFE-SEM-EDSとTEM-EDSを用いて相同定を行った。

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

Keywords: nanoparticle, coalescence, undercooling, volcanic glass

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

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

丸山誠史 (KFT)・山下透 (KFT)・林田明 (同志社大)・

平田岳史 (東大)・檀原徹 (KFT)

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

S. Maruyama* (KFT), T. Yamashita (KFT), A. Hayashida (Doshisha University),

T. Hirata (The University of Tokyo), T. Danhara (KFT)

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

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

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

Uk-fa の岩石学的特性から判断すると、

Keywords: Sambe-Ukinuno tephra, Sakate tephra, refractive index, chemical composition, tephra fall area

*Corresponding author: ojigibito@icloud.com

Uk-fa と Md-fl は一つの同じテフラと見なすことが可能だった。Uk-pfa に含まれる火山ガラスの SiO₂濃度は、ガラス屈折率からの予測に反して、Md-fl のものよりも高かった。しかし Uk-pfa に含まれる火山ガラスの FeO 濃度は Md-fl のものに比べて高く、ガラス屈折率の差異は、SiO₂濃度ではなく FeO 濃度によるものと推定された。

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

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

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

Katoh et al. (2007) *Nat. Hum. Activ.* **11**, 29-50.

福岡・松井(2002) *地球科学* **56**, 105-122.

Smith et al. (2013) *Quat. Sci. Rev.* **67**, 121-137

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

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

S2: Water Rock Interaction (Special Session)

[コアタイム] 12:00~14 : 00

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

*Ryosuke Oyanagi¹, tatsu kuwatani¹, katsuhiko suzuki¹ (1. JAMSTEC)

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

*Yamato Tateishi¹, Toshio Nozaka¹ (1. Okayama Univ.)

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

*Takayuki Nakatani¹, Michihiko Nakamura² (1. AIST, 2. Tohoku Univ., Sci.)

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

*Takuo Okuchi¹, Narangoo Purevjav¹, Yusuke Seto², Naotaka Tomioka³, Kaoru Shibata⁴, Takeshi Yamada⁵ (1. Okayama Univ. IPM, 2. Kobe Univ., 3. JAMSTEC, 4. JAEA, 5. CROSS)

かんらん石の溶解速度から制約される蛇紋岩反応速度

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

Kinetics of serpentinization constrained from olivine dissolution rate at hydrothermal conditions

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

Serpentinization (hydration of mantle peridotite) gives significant changes to both chemical and physical properties of the oceanic lithosphere. Several studies suggested that the rate of serpentinization is maximized at 250-300°C, and the rate-limiting process of serpentinization is the dissolution of primary mineral (e.g., Malvoisin et al., 2012). However, the olivine dissolution rates at > 150°C have never been measured (Rimstidt et al. 2012). Towards the improved understanding of serpentinization kinetics, measuring dissolution rates of olivine as a function of solution composition and temperature is required. In this study, dissolution rate of natural olivine ($(\text{Mg}_{0.91}, \text{Fe}_{0.09})_2\text{SiO}_4$) was measured at 200-300 °C and 50 MPa using a flow-through reactor (Suzuki et al., 2015). Based on dependences of temperature, on dissolution rate, the time scales on hydrothermal alteration of peridotite will be discussed.

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

本研究では、流通式水熱実験装置を用いてかんらん石溶解速度の温度、pH 依存性を明らかにする。シリンジポンプで反応溶液(0.5mol NaCl/kg)を定流量(2.0 ml/min)で流し、反応後の溶液を適宜回収する。その後、ICP 発

光分析による溶液化学組成を測定し、溶液化学組成の時間変化データから反応速度を求める。反応溶液の温度(200~300 度)を変化させた実験を複数行い、それぞれの化学制約条件における溶解速度を求める。実験時間は8時間である。

実験の結果、200°Cの実験において、溶液組成の(Mg+Fe)/Si モル比は約 1.8 で定常状態に達した。一方で、260°C, 300°C の実験において、溶液組成の(Mg+Fe)/Si モル比はそれぞれ 1.2, 0.7 であり、定常状態に達しなかった。これらの結果は、かんらん石の溶解が非化学量論的であることを示唆する。Si の溶液組成を基準とした 200°C, 260°C, 300°C におけるかんらん石の溶解速度($r_{\text{SiO}_2(\text{aq})}$ (mol m⁻² s⁻¹))の対数はそれぞれ-6.2, -7.5, -7.9 と、温度が高くなるほどに遅くなる傾向を得た。実験結果を溶解速度式によってモデル化し、それを用いて既往の蛇紋岩化反応速度式と比較した。結果、250~300°C の範囲では、蛇紋岩化反応の速度はかんらん石の溶解速度と一致した。一方で、250°C以下では、蛇紋岩化反応の速度はかんらん石の溶解速度より遅かった。これらの結果は 250°C以上ではかんらん石の溶解が蛇紋岩化反応を律速し、250°C以下では別のプロセスが蛇紋岩化反応を律速していることを示唆する。

keywords: 反応速度, 蛇紋岩化作用, 水熱実験, かんらん石

*Corresponding author: royanagi@jamstec.go.jp

オマーンオフィオライト下部地殻かんらん石斑れい岩における緑簾石の生成条件

立石大和・野坂俊夫* (岡山大)

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

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

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

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

緑簾石は輝緑岩岩脈と斑れい岩セクション上部では、斜長石を置換して、あるいは熱水脈として広く出現するが、下位のかんらん石斑れい岩においては出現頻度が低下し、破

砕帯あるいは熱水脈とその近傍にほぼ限定的に産出する。この緑簾石の分布は、他の変質鉱物がバックグラウンド変質作用によって広く形成されていることと対照的である。角閃石、緑泥石、ぶどう石、蛇紋石の産状と組成は、角閃岩相から緑色片岩相以下に至る様々な温度条件で変質作用が繰り返したことを示唆しており、特定の温度条件（例えば緑色片岩相）での熱水活動の低下を示すような証拠はない。

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

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

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

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

中谷貴之（産総研）^{*}，中村美千彦（東北大・院理）

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

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

Recent experimental studies have revealed the preferential reaction of a mineral during the hydration of polymineralic rocks, which results in the formation of metastable product mineral assemblage in the effective bulk rock composition enriched in the preferentially-reacted mineral component. The preferential mineral hydration could affect the fluid circulation in subduction zones at least transiently via modulating the volume change during the reaction. To simulate the hydration reaction of the lower crustal rocks and evaluate its influence on crustal fluid infiltration, we conducted hydration experiments in the plagioclase + clinopyroxene systems with 15 wt% H₂O at 500 °C and 1.0 GPa for 672 hours. The augite (Mg# = 69) and labradorite (An# = 60) powders with grain sizes of 38–53 μm were utilized to prepare the three experimental systems: (1) PL: labradorite 100%, (2) CPX: augite 100%, (3) PL+CPX: labradorite 50% and augite 50% by weight. The reaction products were composed of clinozoisite (Fe-poor epidote) + paragonite + Na-rich plagioclase + quartz in the PL system. In the CPX system, chlorite-like phase + actinolite + quartz + Fe-oxide was formed. In the PL+CPX, epidote + chlorite-like phase + muscovite + Na-rich plagioclase + quartz was observed. Mass balance calculation revealed that plagioclase reacted preferentially in the PL+CPX system in which the effective clinopyroxene/plagioclase ratio was 0.28. High aluminum activity imposed via the preferential dissolution of plagioclase could suppress the crystallization of aluminum-poor amphibole (actinolite) at 500°C. Preferential plagioclase reaction leads to the dominant formation of epidote whose density (~3.4 g/cm³) is much higher than that of the primary plagioclase (~2.7 g/cm³). This can lead to ~1% decrease in the overall volume in the PL+CPX system, which is in strong contrast to the volume-increasing serpentinization reaction in the ultramafic system. Hydration of mafic rocks may thus enhance the fluid infiltration in the lower crust via the volume-decreasing reaction.

Keywords: lower crust, hydration reaction, plagioclase, clinopyroxene

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

中性子散乱と透過電顕による含水鉱物の微視的な脱水過程の解析

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

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

Takuo Okuchi^{*1}, Purevjav Narangoo¹, Yusuke Seto², Naotaka Tomioka³, Kaoru Shibata⁴, and
 Takeshi Yamada⁵ (¹Okayama Univ., ²Kobe Univ., ³JAMSTEC, ⁴JAEA, ⁵CROSS)

Hydrous minerals have been playing fundamental roles in the evolution of the Earth. In particular, various types of minerals occurring within the Earth's crust and mantle are absorbing, storing and releasing significant amount of water, which in total can easily exceed the entire mass of the oceans. Transport and storage processes of such water within the Earth are fundamental topics for considering the planet's physical, chemical, and biological evolutions. These processes affect our understanding on the roles of plate tectonic motions, origins of volcanic activities, and interpretation of seismic velocity variations. However, the most fundamental hydration, storage, and dehydration mechanisms occurring within these minerals are not fully understood. In particular, atomic-scale transport process of hydrogen within the relevant crystal structures when dehydration or rehydration occurs within these minerals (e.g. by volume diffusion or grain-boundary diffusion ?, and by transport of H⁺, hydrogen vacancy, or H₂O ? etc.) were left almost-totally unknown, while defining the rate-determining step of dehydration and rehydration it is very essential to understand these atomic-scale processes.

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

References

- Purevjav, N., T. Okuchi, C. Hoffmann, Strong hydrogen-bond generation in dense hydrous magnesium silicate phase E observed by single-crystal neutron diffraction, JpGU 2019 abstract SMP33-04.
- Purevjav, N., T. Okuchi, X.Wang, C. Hoffmann, N. Tomioka, Determination of hydrogen site and occupancy in hydrous Mg₂SiO₄ spinel by single-crystal neutron diffraction, Acta Cryst., 74, B115 (2018)
- Okuchi, T., N. Tomioka, N. Purevjav, K. Shibata, Quasielastic neutron scattering of brucite for analyzing hydrogen transport at the atomic scale, J. Appl. Cryst., 51, 1564-1570 (2018)
- Okuchi, T., N. Purevjav, N. Tomioka, J. F. Lin, T. Kuribayashi, L. Schoneveld, H. Hwang, N. Sakamoto, N. Kawasaki, H. Yurimoto, Synthesis of large and homogeneous single crystals of water-bearing minerals by slow cooling at deep-mantle pressures, Am. Mineral., 100, 1483-1492 (2015)

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

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

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

[コアタイム] 12:00~14:00

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

*Shunichiro Nozokido¹, Takahiro Kuribayashi¹, Toshiro Nagase² (1. Tohoku Uni.Sci., 2. Tohoku Uni.Mus.)

[R2P-02] Preparation of Cs⁺ and Er³⁺ exchange forms of GTS-type Na titanosilicate and their cation distributions

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

[R2P-03] Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite(Na₂SO₄ · 10H₂O)

*Ryutaro Ikeda¹, Atsushi Kyono¹ (1. Tsukuba Uni.Life and Environmental Sciences.)

[R2P-04] Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite

*Mitsuyoshi Kurita¹, Toshiro Nagase¹, Takahiro Kuribayashi¹, Hiroyuki Imai² (1. Tohoku Uni. Sci., 2. Kinseki zoukei studio)

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

「発表賞エントリー」

*Shintaro Niiyama¹, Reiko Simura², Kazumasa Sugiyama³ (1. Tohoku Univ. , 2. IMRAM, Tohoku Univ., 3. IMR, Tohoku Univ.)

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

*Ibuki Kinebuchi¹, Yoshinari Sano¹, Atsushi Kyono¹ (1. Univ Tsukuba. Life.)

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

「発表賞エントリー」

*Ryo Sugaya¹, Masahiko Sato¹, Toshihiro Kogure¹ (1. Univ. Tokyo, Sci.)

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

*Koichi Takeuchi¹, Kazumasa Kisu², Seiichiro Uehara³, Yoshihiro Kuwahara⁴, Akira Ohwada⁵, Masaharu Takebe⁶ (1. Non, 2. Ceramic Research Center of Nagasaki, 3. Kyushu Univ. Sci., 4. Kyushu Univ. S. C. S., 5. AIST, 6. Tsuchihashi mining Co.)

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

「発表賞エントリー」

*Kohei Chiba¹, Eriko Ohshima², Misaki Takahashi³, Kazumasa Sugiyama⁴ (1. NIT Ichinoseki Col., Adv. Chem. Eng., 2. NIT Ichinoseki Col., Dept. Eng. Fut. Innov., Div. Chem. Eng. & Bio., 3. NIT Ichinoseki Col., Dept. Chem. Eng., 4. Tohoku Univ., IMR)

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

*Masao Kitamura¹, Kiiko Katsuno², Toshiharu Irisawa³ (1. Non, 2. Seikei Univ., 3. Gakushuin Univ.)

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

「発表賞エントリー」

*chihiro kaino¹ (1. Tohoku Uni. Sci.)

[R2P-12] Electronic state of pyrite structure

*Ruka Yoneyama¹, Fumiya NORITAKE^{2,3} (1. University of Yamanashi, Eng., 2. University of Yamanashi, 3. RIKEN)

単結晶 X 線回折実験によるアウインの結晶構造解析

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

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

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

R2P-01

はじめに

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

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

実験

試料には変調構造を持つドイツ、Eifel 産アウイン ($\text{Na}_{5.65}\text{Ca}_{1.90}\text{K}_{0.40}[\text{Al}_{6.12}\text{Si}_{5.84}\text{O}_{24}](\text{SO}_4)_{1.90}\text{Cl}_{0.08}$) を用いた。単結晶 X 線回折実験は、常温(20℃)常圧下で、四軸型自動 X 線回折計(Rigaku, AFC-7S)を用いて、 $2\theta_{\text{max}} = 59.72^\circ$, 50 kV-30 mA, $\text{MoK}\alpha$ 線($\lambda = 0.71073 \text{ \AA}$)の条件で強度測定を行った。独立な 78 個の反射($I > 2\sigma I$)を用い、WinGX と SHELXL97 を用いて結晶構造パラメータを精密化した。その結果、 $R1 = 7.72\%$, $wR2 = 24.00\%$, $\text{GooF} = 0.940$ で収束した。

結果と考察

Hassan and Grundy (1991)が報告した変調構

造を持たないイタリア、Sacrofano 産のアウイン(SI)の結晶構造モデルと今回の変調構造を持つ EG 産の結晶構造モデルを比較すると、EG 産の試料では、結晶モデルでフレームワークの酸素席が 2 つに分裂している点で顕著な差異が見られた。また、 SO_4^{2-} イオンは、両者の試料で共通して方位は 1 方向だった。同じソーダライトグループ鉱物に属するノゼアン ($\text{Na}_8[\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}]\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) にも変調構造が観測され、その原因として、大きさと電荷の異なる $\{\text{Na}_4 \cdot \text{SO}_4\}^{2+}$ と $\{\text{Na}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}\}^{4+}$ クラスターの秩序配列により、変調構造に起因するフレームワーク構造中の酸素席が 2 つに分裂すると議論されている(Hassan and Buseck, 1989a)。一方、Kuribayashi (2017)は 1000℃以上に加熱したアウインの試料の変調周期が常温に戻したときに不可逆的であることから変調構造の要因は、フレームワーク構造中の四面体中の Al / Si の配列様式に起因すると報告している。

Hassan and Buseck(1989)の考えでは、Hassan et al.(2004)で報告されている変調構造をもつアウインの構造を一部説明できない。変調を示さないアウインで見られた 2 つのクラスターは、フレームワーク中の酸素席に影響を与えておらず、本試料では、化学組成分析結果から、クラスター成分としては、 $\{\text{Na}_3\text{CaSO}_4\}^{3+}$ の成分が大半を占めており、変調構造の要因としての影響は小さいと考えられる。このため、四面体席中の Al/Si の分布様式をより正確に知る必要がある。

Keywords: Haüyne, modulated structure, framework, SC-XRD

S. Nozokido: shunichiro.nozokido.s3@dc.tohoku.ac.jp

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

藤原 恵子、河田 尚美、中塚 晃彦（山口大・院創成）

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

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

1. はじめに

マイクロポーラス結晶である GTS 型 Na チタノシリケート ($\text{Na-GTS: Na}_4[(\text{TiO})_4(\text{SiO}_4)_3] \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) は、4 つの TiO_6 八面体が稜共有することによって 1 つのクラスターを形成し、そのクラスター同士が SiO_4 四面体と頂点共有によって結合することで骨格構造を形成する。1 つの細孔内に 4 つの Na^+ イオンと 6 つの H_2O 分子が占有している。結晶構造は立方晶系から僅かに歪んだ三方晶系 ($R3m$, $a = 7.812 \text{ \AA}$, $\alpha = 88.79^\circ$) に属する。

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

2. 実験

出発物質として NaOH 水溶液、高分散 SiO_2 、 TiCl_4 水溶液を用い、これらを混合した後、水熱処理した。粉末 XRD の結果、得られた生成物は Na-GTS の単一相であることを確認した。この Na-GTS に CsCl 水溶液 (0.01~1.0 M) または ErCl_3 水溶液 (0.01~0.5 M) を加え、振とう処理を行うことによってイオン交換した。振とう処理条件は、前者において 25, 40, 60 °C の各温度で 24 時間、後者において 25, 60 °C の各温度で 6 時間であった。得られた試料の構造評価には粉末 XRD、含水量の決定には TG-DTA を用いた。振とう処理後の CsCl および ErCl_3 水溶液におけ

る上澄みの Na^+ 濃度を原子吸光分析で求め、 Cs^+ 交換体 [$\text{Na}_{4(1-x)}\text{Cs}_x\text{Ti}_4\text{Si}_3\text{O}_{16} \cdot n\text{H}_2\text{O}$] および Er^{3+} 交換体 [$\text{Na}_{4(1-x)}\text{Er}_x\text{Ti}_4\text{Si}_3\text{O}_{16} \cdot n\text{H}_2\text{O}$] のイオン交換率 x を決定した。

3. 結果と考察

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

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

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

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

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

Mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)の結晶構造の温度依存性

池田 龍太郎*, 興野 純 (筑波大学生命環境)

Temperature dependence of crystal structure of Mirabilite

Ryutaro Ikeda and Atsushi Kyono

The temperature-dependent single-crystal X-ray diffraction measurement of mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) was performed in the temperature range between 213 and 303 K. Here, we report the crystal structure change of mirabilite associated with the positional disorder of the O atoms at the tetrahedral apices .

Mirabilite ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)は物質の相変化を利用して内部に熱量を保存することができる相変化材料(Phase Change Materials, PCM)として知られている. 306Kにて脱水反応によって mirabilite から無水の thenardite (Na_2SO_4)に変わり, 283Kにて水和反応によって thenardite から mirabilite に戻る. この可逆反応の際に, 522 kJ/mol の熱量が吸収放出される. これは氷から水への相転移に必要な熱量の約 12 倍に相当する(Rossini et al., 1952). Mirabilite の結晶構造は, $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_6$ 八面体の水分子と SO_4 四面体の酸素が無秩序配置している特徴がある(Levy & Lisensky, 1978). 粉末中性子回折測定によって, mirabilite の $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_6$ 八面体の水分子の無秩序対置に温度依存性があることが示された(Brand et al., 2008). しかし, SO_4 四面体の無秩序配置の温度依存性については明らかになっていない. そこで本研究では, 単結晶 XRD 測定を実施し, mirabilite の SO_4 四面体と無秩序配置の温度依存性について詳細に調べた.

213K から 303K の範囲での単結晶 XRD 測定の結果, 温度に伴って mirabilite の単位格

子は c 軸方向に顕著な熱膨張を示したのに対し, b 軸方向の熱膨張は僅かであった. SO_4 四面体の酸素の席占有率は, 温度とともに major 成分が減少し minor 成分が増加した. また, minor 成分の SO_4 四面体は膨張するのに対し, major 成分の SO_4 四面体は温度上昇に伴い収縮する特徴的な挙動を示した.

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

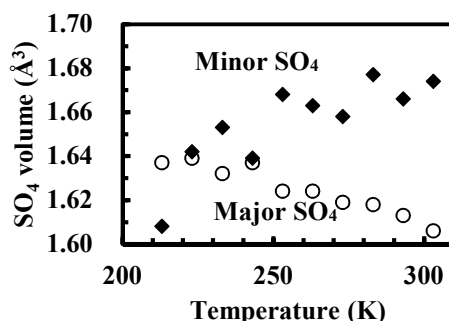


図1 SO_4 四面体体積の温度依存性

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

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

クトナホラ石の形態変化の結晶学的解析

栗田充喜 (東北大・院理), 長瀬敏郎 (東北大・総学博), 栗林貴弘 (東北大・院理), 今井裕之 (金石造形スタジオ)

Crystallographical analysis for morphology of kutnohorite
M. Kurita*, T. Nagase, T. Kuribayashi (Tohoku Univ.) H. Imai (Kinseki zoukei studio)

はじめに

クトナホラ石 (kutnohorite) $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$ は、空間群 $R\bar{3}$ の苦灰石 (dolomite) 型の結晶構造をもち、異なる陽イオン八面体席が存在する。この席をA席、B席としたとき2つの陽イオンの席占有率から陽イオン配列の秩序度が求められ、同じ組成でも秩序度によって格子定数や陽イオン八面体席内での原子間距離などが変化する (Reeder, 1983)。一方で形態に着目すると同形の方解石には多くの結晶形態が報告されている。結晶形態の変化には温度、圧力、不純物など様々な要因が関係している (Sunagawa, 1967)。本研究では、クトナホラ石での結晶構造の変化が結晶形態に与える影響を調べた。

試料と観察方法

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

結果と考察

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

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

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

Keywords: Kutnohorite, Degree of ordering, Single-crystal X-ray diffracton, EBSD

*Corresponding author: mitsuyoshi.kurita.r2@dc.tohoku.ac.jp

Ce 添加 merrillite 型結晶の合成と発光特性

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

Synthesis and luminescence of Ce-doped merrillite

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

【はじめに】 apatite [$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$] および merrillite [$\text{Ca}_9\text{MgNa}(\text{PO}_4)_7$] などのリン酸塩鉱物には、希土類元素が含有されていることがある。我々は、天然リン酸塩鉱物の XANES および発光分析データから希土類元素の存在形態を解明し、その置換メカニズムを応用した新規蛍光体材料の開発を行っている。

【実験および考察】リン酸塩鉱物への希土類元素の置換導入メカニズムに関してはいくつかの議論があるが、lunar merrillite に関しては、アルカリ土類金属席の一部が希土類元素に置換されている (Hughes et al. 2006)。本稿では、merrillite の希土類元素置換メカニズムを応用して作製した $\text{Ca}_9\text{Ce} \square (\text{PO}_4)_7$ の解析結果を紹介する。試料は、目的組成に計量した原料粉末を圧粉成型して電気炉で仮焼結した。得られた試料を粉砕した後再度成型して 1300°C で焼結することで作製した。焼結後の試料は白色～緑白色を呈する $120\mu\text{m}$ 程度の結晶粒から構成されていた。3次元蛍光発光測定を行った結果、励起光 $220\text{--}340\text{nm}$ で $320\text{--}400\text{nm}$ の Ce^{3+} の $5d\text{--}4f$ 遷移の紫色の蛍光発光が確認された (図1)。さらに図2に示すように、本試料の Ce L_{III} 吸収端 XANES プロファイルは、 $\text{Ce}^{3+}\text{PO}_4$ と類似し、試料中の Ce は 3 価が支配的であることも判明した。単結晶構造解析を行った結果、本試料は

merrillite 型 $\text{Ca}_9\text{Ce} \square (\text{PO}_4)_7$ ($R3c$ $a=10.500(2)$, $c=37.564(4)$) が主成分であることも判明している。当日は結晶構造の詳細と固溶 Ce の存在形態との関連について議論する予定である。

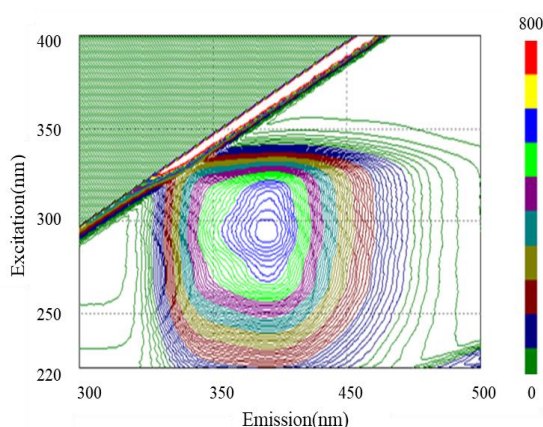


図1. 3次元蛍光発光マップ

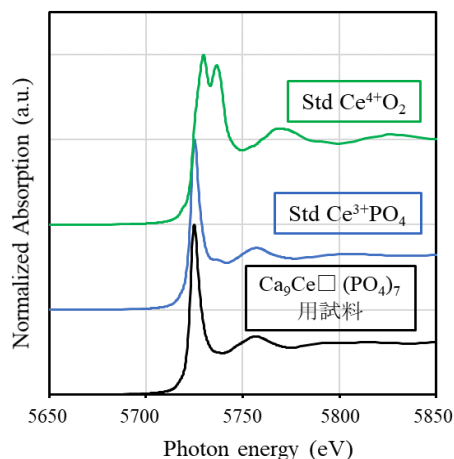


図2. XANES 測定結果

Keywords: apatite, phosphate, cerium, photoluminescence X-ray diffraction, XAFS

* Shintaro Niiyama: shintaro.niiyama@imr.tohoku.ac.jp

Magnetite-maghemite-hematite 相転移メカニズム

杵渕伊吹*・佐野喜成・興野純（筑波大・院・生命）

Study on magnetite-maghemite-hematite transformation

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

地殻中に普遍的に存在する magnetite (Fe_3O_4)は Fe^{2+} が Fe^{3+} に酸化することによって hematite ($\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$)に相転移する. この酸化過程において, magnetite と同形構造である maghemite ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$)が中間相として形成される. Maghemite は magnetite 中の八面体席の一部が空孔になったものであり, magnetite から maghemite への局所構造の連続的な変化については未解明な部分が多い. そこで本研究では, magnetite から maghemite を経て hematite まで相転移するメカニズムを解明するために, 熱重量・示差熱分析, 高温 in-situ 粉末 XRD 測定, X 線吸収微細構造(XAFS)の高温 ex-situ および in-situ 測定を行って, magnetite の酸化過程での局所構造変化を調べた.

熱重量・示差熱分析の結果, magnetite には加熱開始と同時に 400 °C まで連続的な発熱と重量増加が観察され, その後 500 °C までは発熱量は減少し重量は一定となった. 高温 in-situ 粉末 XRD のリートベルト解析から, 加熱に伴う Fe_{oct} の席占有率の減少と(110)(210)(211)面のピークの出現, 増加が分かる. より高温になること

で hematite のピークが出現, 増加し, maghemite のピークが減少していた. Ex-situ EXAFS の動径構造関数から, 250 °C まで加熱した magnetite では, 出発物質の magnetite と比較して $\text{Fe}_{\text{oct}}\text{-O}$, $\text{Fe}_{\text{oct}}\text{-Fe}_{\text{oct}}$, $\text{Fe}_{\text{tet}}\text{-Fe}_{\text{oct}}$ のピークが弱く, Fe-O の平均結合距離が短いことが分かった. また, 500 °C まで加熱した magnetite では, hematite に特徴的なピークが強くなっていた. 500 °C での高温 in-situ XANES の結果から, Fe の平均酸化数は加熱開始から 135 分まで連続的に増加し, 135 分以降はほぼ一定となることが明らかになった. また, 高温 in-situ EXAFS の動径構造関数から, 加熱開始から 70 分までは magnetite の Fe-O , $\text{Fe}_{\text{oct}}\text{-Fe}_{\text{oct}}$, $\text{Fe}_{\text{tet}}\text{-Fe}_{\text{oct}}$ のピークが連続的に減少した. その後, 80 分以降から hematite に対応するピークが出現し始めた.

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

Keywords: magnetite, maghemite, hematite, phase transformation

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

斜長石中の針状磁鉄鉱離溶相の鉱物学的研究

菅谷 峻^{*1}, 佐藤 雅彦¹, 小暮 敏博¹ (1.東大・院理)

Mineralogical study on acicular magnetite exsolution in plagioclase

Ryo Sugaya^{*1}, Masahiko Sato¹, Toshihiro Kogure¹ (1. Univ. Tokyo, Sci.)

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

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

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

らに FIB により薄片試料を作製し、TEM 内で電子回折等を用いた結晶学的解析を行った。

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

Keywords: Magnetite exsolution, plagioclase, paleomagnetism, biotite

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

土橋セリサイトに含まれるX線回折で見えない鉱物

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

Possible amorphous mineral included in the Tsuchihashi sericite rock

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

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

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

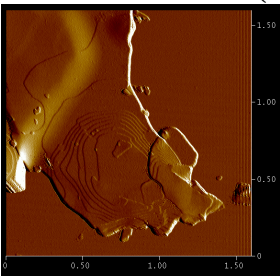
【結果と考察】 化学分析の結果を表1に示す。表には比較のため同時に分析した日本粘土学会参考試料の結果も示している。土橋セリサイトは参考試料に比べてK₂Oが約2%少ない。化学分析を行った試料のXRD測定では、セリサイト以外の回折ピークは認められなかった。偏光顕微鏡観察では1mm以下の石英粒子が小数認められた。AFM像を図1

に示す。不定形で歪な板状粒子が多く、成長ステップ模様の形状もcircular状が多い。平均粒子厚さは20-60nm、平均ステップ間隔は40-100nmであった。成長ステップ模様からは1Mポリタイプが多いと考えられる。TEM像を図2に示す。TEM観察から推定される粒子の厚さは数十nmで、AFM観察の結果と一致している。図2には薄板状のセリサイトだけでなく、100nm以下の粒状物質が多く存在している。これらの粒子からは明瞭な電子線回折が得られておらず、SiとAlを含んでいるが詳細な化学組成は不明である。この粒状物質がXRDで検出できない鉱物の可能性がある。

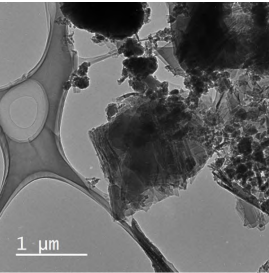
- 1)橋本ら(2019)資源地質学会第69回年会 50.
- 2)武内ら(2018)第62回粘土科学討論会 146-147.

(Table 1) XRF analysis (wt. %)

	(1)	(2)
SiO ₂	49.78	47.32
TiO ₂	0.10	0.23
Al ₂ O ₃	36.59	29.36
Fe ₂ O ₃	0.05	4.19
MgO	0.07	1.06
CaO	0.20	1.99
Na ₂ O	0.14	0.11
K ₂ O	7.19	9.16
lg. loss	5.83	6.29
Total	99.95	99.71
(1)土橋セリサイト		
(2)日本粘土学会参考試料UCSS-5102		



(Fig. 1) AFM image



(Fig. 2) TEM image

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

ビビアナイトにおける生成条件と鉄の酸化数

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

Synthesis Condition and Iron Valence in Vivianite

Kohei CHIBA^{*1}, Eriko OHSHIMA¹, Misaki TAKAHASHI¹, Kazumasa SUGIYAMA²

(1. NIT, Ichinoseki Col.), (2. Tohoku Univ., IMR)

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

1. 緒言

2価の鉄のリン酸鉄鉱物のvivianiteは発見時は無色であるが、すぐに青色に変化することが知られている。これはFe²⁺の空気酸化によるものとされている。またvivianiteの鉄の一部が酸化されたmetavivianiteがあり、天然ではvivianiteとmetavivianiteは共存する。

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

2. 実験

(NH₄)₂HPO₄ 0.6 g を水 18 mL に溶解し、それに FeSO₄·7H₂O 1.8 g を加え 50~90 °C で反応させた。生成物は XRD で同定を行い、XAFS で鉄の状態分析を行った。

3. 結果及び考察

反応物を混合するとすぐに白色沈殿が生成したが、これは徐々に青または緑色に変化した。反応温度が 50 °C 以下では青色、60 °C 以上では緑色となった。反応温度を変

Keywords: Vivianite, Metavivianite, Iron Phosphate

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

えて生成した試料の粉末 XRD パターンを図 1 に示す。

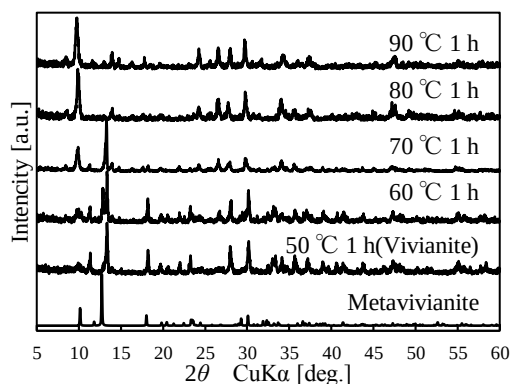


図 1. 実験で得られた試料の XRD パターン

図 1 より 50 °C では vivianite, 60 °C で vivianite と metavivianite の混合物, 70 °C 以上で両者と異なる化合物が得られた。60 °C で長時間反応させた場合や 60 °C 前半で反応させた場合でも, metavivianite の単相は得られなかった。つまり metavivianite の生成温度範囲は以上に狭く, metavivianite は準安定相でありと考えられる。また, 60 °C 以下での生成物中の鉄は 2 価, 70 °C 以上では 3 価の成分があることも分かった。

固溶体の成長：選択的吸着とキンクカインेटィックス

北村雅夫*・勝野喜以子¹・入澤寿美²

¹成蹊大学、²学習院大学計算機センター

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

Masao Kitamura*, Kiiko Katsuno (Seikei Univ.)¹, Toshiharu Irisawa (Gakushuin Univ.)²

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

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

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

Keywords: crystal growth theory, solid solution

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

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

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

トラピッチェ・エメラルドの 成長プロセス

海野智洋, 栗林貴弘(東北大院理), 長瀬敏郎(東北大総学博)

Growth process of low-symmetry trapiche emeralds

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

1. はじめに コロンビア産のベリル($\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$)はトラピッチェ・エメラルドという特殊な成長組織を有しており、この組織は中心の六角形のコア部と、そこから伸びる六本のアーム部からなる。その成長様式に関しては様々な研究が行われている(Isabella *et al.*, 2015)。これまでの我々の研究により、アーム部に低対称を示す部分が含まれていることがX線構造解析から示唆された。エメラルドにおいても、江森ほか(2002)によって同様の報告がなされている。トラピッチェ・エメラルドの成長プロセスにおいて、低対称化した結晶がアーム部に含まれていることを考慮した先行研究はない。そこで本研究では、トラピッチェ・エメラルドに含まれる対称性の異なる2つの領域と成長プロセスとの関係について考察をおこなう。

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

3. 結果と考察 試料の c 軸に垂直な薄片の偏光顕微鏡観察では、アーム部に消光するバンドと常に暗黒なバンドがみられ、対称性が異なる部分が含まれていた。CLでの観察で明暗のバンドが交互に並んだ組織が確認で

き(Fig.1)、BSE像の明暗と対応していた。組成分析の結果、アーム部の暗部にはNaとMgが明部より多く含まれる。またアーム部の明暗の互層がそれぞれの組成を保ったまま、ある方向から $\langle 210 \rangle$ へと曲がっている組織が部分的にみられる。このことからアーム部は成長面に依存する成長ではないことが示唆される。SEM観察ではアーム部の $\{10\bar{1}0\}$ 表面に数 μm の凹凸が無数にみられる。同一の視野をCLで観察したところ、暗部が凹部に対応する。

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

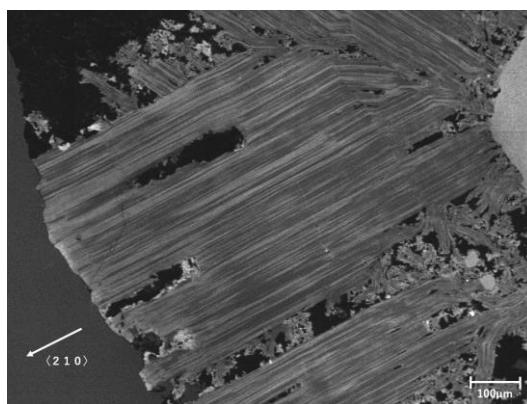


Figure 1. 試料のアーム部のCLイメージ

Keywords: trapiche emerald, cathodoluminescence, cell growth

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

パイライト型構造の電子状態

米山 瑠華* (山梨大・工)、則竹 史哉 (山梨大・院総合研究部、理研)

Electronic state of pyrite structure

Ruka YONEYAMA* (University of Yamanashi)

Fumiya NORITAKE (University of Yamanashi, RIKEN)

Pyrite structure (MX_2) has simple cubic lattice and is characterized by X-X bonding, MX_6 octahedron, and a X element making bond with 3 M elements and a X element. Hauerite is a pyrite structure mineral with composition of MnS_2 . It is known that the hauerite has a long bond distance compared with pyrite-type structure minerals composed of other transition metal elements. In this study, molecular orbital calculation was performed using MP2 method and aug-cc-pVTZ basis functions on the cluster ($\text{H}_6\text{S}_{12}\text{M}$, $\text{M} = \text{Mn, Fe, Co, Ni}$) as part of the pyrite-type structured crystal. As a result of structural optimization, the elongation of bonding distance between Mn and S comparing with other transition metal elements and high-spin state of manganese consistent with experiments were reproduced.

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

本研究では結晶構造の一部を取り出し

Keywords: Pyrite, Molecular Orbital Calculations

*Corresponding author: t16am035@yamanashi.ac.jp

たクラスター ($\text{H}_6\text{S}_{12}\text{M}$, $\text{M} = \text{Mn, Fe, Co, Ni}$) に対して分子軌道計算を実施した。分子軌道計算は Schrödinger 方程式を数値的に解く手法で分子系の電子状態を非経験的に求めることができる。

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

Poster presentation | R5: Extraterrestrial materials

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

R5: Extraterrestrial materials

[コアタイム] 12:00~14 : 00

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

*Megumi Matsumoto¹, Akira Tsuchiyama^{2,3}, Akira Miyake⁴, Naotaka Tomioka⁵, Motoo Ito⁵, Yu Kodama⁶, Junya Matsuno⁴, Masahiro Yasutake², Aiko Nakato⁷, Kentaro Uesugi⁸, Akihisa Takeuchi⁸, Tsukasa Nakano⁹, Epifanio Vaccaro¹⁰ (1. Tohoku Univ., 2. Ritsumeikan Univ., 3. GIG/CAS, 4. Kyoto Univ., 5. JAMSTEC, 6. Marine Works Japan, 7. JAXA/ISAS, 8. JASRI/SPRing-8, 9. GSJ/AIST, 10. NHM in London)

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

*Ryo Uehara¹, Yoshihiro Kuwahara², Kazuhiko Shimada⁴, Yoshihiro Nakamuta³, Seiichiro Uehara⁴, Tatturo Adachi⁵ (1. Kyushu Uni. ISGS., 2. Kyushu Uni. SCS., 3. Kyushu Uni. Mus, 4. Kyushu Uni. Sci, 5. Kyushu Uni. Arch)

Acfer094 隕石中の宇宙シンプレクタイトの TEM 観察

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

TEM observations of a cosmic symplectite in the Acfer 094 meteorite

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

はじめに

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

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

試料と手法

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

結果と考察

COS 粒子は、二次元断面では、インクルージョン (直径 $\sim 2 \mu\text{m}$) とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層 (厚さ $1\text{--}2 \mu\text{m}$) からなる、コア-マントル構造を示す。これと似た構造 (空隙とそれを殻状に囲む Fe-O-S-Ni 層) を示す COS 粒子は、Abe et al. (2017)^[4] の SEM 観察により多数確認されている。これらの粒子は、元々在ったインクルージョンが、試料研磨時

に脱離した可能性がある。

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

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

Na 硫酸塩による金属鉄の腐食を模擬した実験^[5,6]では、金属鉄板と Na 硫酸塩を接触させ $\text{N}_2\text{--O}_2\text{--SO}_2$ ガス中で加熱し ($>600^\circ\text{C}$)、接触面に①に似た FeS と Fe 酸化物の混合層や、②に似た FeS–Fe 酸化物ラメラが形成したことを報告している。本研究の COS 粒子は、これと同様の反応過程を経て形成した可能性がある。このような高温条件下での metal-sulfate 反応は、COS が隕石母天体に集積する前に起こった可能性が高い。一方、最表面の③Fe 酸化物層は、母天体集積後の水質変成により COS 粒子表面が酸化され形成した可能性がある。

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

参考文献

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

Keywords: Acfer 094 隕石, 宇宙シンプレクタイト, metal-sulfate interaction, TEM

*Corresponding author: m_matsumoto@tohoku.ac.jp

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

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

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

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

これまで小惑星の熱進化モデルについては多くの研究者が議論を展開してきた (Wood, 1979; Miyamoto et al., 1981; Yomogida and Matsui., 1984; McSween et al., 2002)。この熱進化モデルを考える上での重要なパラメーターとして、コンドライト隕石母天体の最高到達温度、年代、冷却速度などが挙げられている (McSween et al., 2002)。これらのパラメーターの中でも、母天体内部の最高到達温度については様々な地質温度計を用いて求められてきた (Olsen and Bunch, 1984; Nakamuta and Motomura., 1999; Kessel et al., 2002; Slater-Reynolds and McSween., 2005)。中でも、Lindsley (1983) による輝石温度計は他の温度計とは違い、同じ隕石内で斜方輝石 (Opx) と単斜輝石 (Cpx) の各々から温度を求めることができることから広く用いられてきた。しかし、これまで報告された単斜-斜

方輝石間の温度差が 50~100°C 程度と大きいことから、斜方輝石と単斜輝石で得られる温度のどちらが実際の変成温度を表しているのか、多くの議論がなされてきた。これを受けて、Nakamuta et al. (2017) は隕石中に存在する単斜輝石にコスモクロア輝石成分を考慮し、従来の Lindsley 輝石温度計にその成分を加えた改良型 Lindsley 輝石温度計を提案した。これにより、LL コンドライト隕石中の単斜輝石と斜方輝石から得られた変成温度の差が 20°C 未満と、従来の輝石温度計を用いた先行研究の結果より精度の高い結果が得られることを報告した。本研究では Nakamuta et al. (2017) が考案した改良型 Lindsley 輝石温度計を用いて、H グループに属する変成度の異なる 4 タイプの隕石の変成温度の推定を行った。ここでは、その結果について報告する。

Keyword: H chondrite, Lindsley pyroxene thermometer, Kosmocl, Peak temperature, Onion-shell model

*Corresponding author: Uehara.ryo.811@s.kyushu-u.ac.jp

Poster presentation | R8: Metamorphic rocks and tectonics

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

R8: Metamorphic rocks and tectonics

[コアタイム] 12:00~14:00

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

*Juliah Wangari Muriuki¹, Daisuke Nakamura¹, Takao Hirajima², Martin Svojtka³ (1. Okayama Uni., 2. Kyoto Uni., 3. Institute of Geology CAS)

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

「発表賞エントリー」

*Yu Oikawa^{1,2}, Daisuke Nakamura¹, Takao Hirajima², Tomoaki Morishita³, Akihiro Tamura³, Hajime Yamane¹ (1. Okayama Uni. Sci., 2. Kyoto Uni. Sci., 3. Kanazawa Uni. Sci.)

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

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

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

*Shunji TOJO¹ (1. Fukuoka Kyoiku Daigaku)

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

*Tomoharu Miyamoto¹ (1. Kyushu University)

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

*Shoichi Toh¹, Tomoharu Miyamoto² (1. Fukuoka Univ. Sci., 2. Kyushu Univ. Sci.)

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

*Sotaro Baba¹, Yasuhito Osanai², Nobuhiko Nakano², Tomokazu Hokada³, Tatsuro Adachi², Tsuyoshi Toyoshima⁴ (1. University of the Ryukyus, Edu., 2. Kyushu University, 3. National Institute of Polar Research, 4. Niigata University, Sci)

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

*Tomokazu Hokada^{1,2}, Yasuhito Osanai³, Nobuhiko Nakano³, Tatsuro Adachi³, Tsuyoshi Toyoshima⁴, Sotaro Baba⁵ (1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University of Advanced Studies, 3. Kyushu University, 4. Niigata University, 5. University of the Ryukyus)

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

Kazuyuki Shiraishi¹, *Tomokazu Hokada^{1,2}, Yoshikuni Hiroi^{1,3}, Yoshihumi Nogi^{1,2}, Yoichi Motoyoshi^{1,2} (1. National Institute of Polar Research, 2. The Graduate University of Advanced Studies, 3. Chiba University)

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

*Ippei Kitano¹, Yasuhito Osanai¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹ (1. SCS, Kyushu Univ.)

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

*Fransiska Ayuni Catur Wahyuandari¹, Yasuhito Osanai¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Nugroho Imam Setiawan² (1. Kyushu University, 2. Universitas Gadjah Mada)

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

「発表賞エントリー」

*Fumihiko Sato¹, Kaushik Das¹ (1. Hiroshima Uni. Grad. Sci.)

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

*Jun-ichi Ando¹, Naotaka Tomioka², Hiroyuki Kagi³, Takehiro Hirose² (1. Hiroshima Univ., 2. Kochi Core Center, 3. Univ. Tokyo)

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

*Yuki Iwasaki¹, Jun-ichi Ando¹, Das Kaushik¹, Dyuti Prakash Sarkar¹, Seiichiro Uehara², Hiroaki Ohfuji³ (1. Hiroshima Uni. Sci., 2. Kyushu Uni., 3. Ehime Uni.)

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

*Yoshihiro Nakamura¹ (1. AIST)

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

*Shunsuke Endo¹, Hiroshi Yoshida¹ (1. Shimane Univ.)

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

ムリウキ・ジュリア*、中村大輔（岡山大学）、平島崇男（京都大）、マルチン・スヴォイ
ツカ（チェコ科学アカデミー）

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

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

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

Type A - includes Cr-rich spinel and Cr-rich garnet,

Type B - includes Cr-poor garnet and no spinel, and

Type C - includes Cr-rich and Al-rich spinel and both Cr-rich and Cr-poor garnet.

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

We used Cr-in-clinopyroxene barometer, Fe²⁺-Mg exchange-type geothermometers and garnet-orthopyroxene barometer to establish the *P-T* history of the garnet peridotites. Core compositions of clinopyroxene inclusions in garnet and the host garnet yielded 978–1002 °C, 4.87–5.12 GPa (type B) and 1034 °C, 4.93 GPa (type C), as Stage I. As garnet in type A peridotite lacks clinopyroxene inclusions, the pairs of core compositions of the matrix garnet and pyroxenes yielded 1005–1072 °C, 4.42–4.46 GPa (type A), as Stage II. For Stage II of type B/C, innermost garnet rims and cores of matrix pyroxenes surrounding garnet yielded 1222–1325 °C, 5.03–5.67 GPa (type B) and 1189–1267 °C, 5.59–6.97 GPa (type C).

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

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

Keywords: garnet peridotite, spinel, ultra-high pressure
Medaris et al. (2005) *Lithos*, 82, 1-23.

* Corresponding author: pk386ifi@s.okayama-u.ac.jp

中国蘇魯地域北東部に産するザクロ石カンラン岩の 温度圧力履歴の推定

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

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

Yu Oikawa^{*1,2}, Daisuke Nakamura¹, Takao Hirajima², Tomoaki Morishita³, Akihiro Tamura³,
Hajime Yamane¹ (¹Okayama Univ. ²Kyoto Univ. ³Kanazawa Univ.)

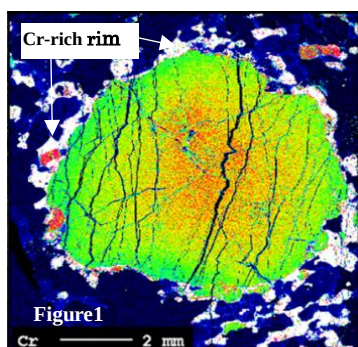
中国蘇魯地域北東部の栄成地区 Chijiadian で採集されたザクロ石カンラン岩は、地質温度圧力計の適用から少なくとも 4GPa 以上の超高压条件を経験したことが知られている[1]。一方で、この岩石がそのような超高压ステージ以前に加圧を経験した証拠はほとんど報告されていない。そこで、本研究ではこの岩石の温度圧力履歴の推定を試みた。

本研究試料は、直径約 1cm のザクロ石巨晶を含み、matrix は細粒(粒径 1-2mm 程度)なザクロ石、単斜輝石、直方輝石、カンラン石、角閃石などからなる。分析の結果、ザクロ石巨晶は core から mantle にかけてほぼ均質 (Mg:Fe:Ca=68mol%:20mol%:12mol%)だが、rim で Fe が増加し、Mg と Ca が減少する (Mg:Fe:Ca=66mol%:24mol%:10mol%) 組成累帯構造が観察された。また、ザクロ石巨晶は一部の rim を除いて Cr に乏しいが (Cr<0.035apfu, O=12)、Cr 含有量が不連続に多くなる rim (以下 Cr-rich rim とする, Cr=0.05-0.11apfu, O=12, Figure1) が存在する。この Cr-rich rim は細粒なザクロ石と類似した主要元素、微量元素(Zr, Y, HREE)組成を示した。また、matrix の単斜輝石と直方輝石 (Al=0.005-0.015apfu, O=6) は化学組成においてほぼ均質である。このことから、ザクロ石巨晶の Cr-rich rim は細粒なザクロ石や単斜輝石、直方輝石と同時期に形成したと考えられる。更に、巨晶中の包有物として、core では Cr-rich rim には見られない Al に富む直方輝石 (Al=0.09-0.17apfu) やスピネル、緑泥石などが確認された。よって、core は Cr-rich rim よりも低圧下

で形成したと推察される。そこでザクロ石巨晶の core と包有物の直方輝石、Cr-rich rim と matrix の直方輝石をペアにとり、地質温度圧力計(Grt-OPX 地質温度計[2]、Grt-OPX 地質圧力計[3])を適用した。その結果、core で 660°C, 1.0GPa、Cr-rich rim で 770°C, 4.1GPa という温度圧力条件が得られ、Cr-rich rim の方がより高温高压条件だった。

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

Y 含有量は core (29.69ppm) から Cr-rich rim (11.04ppm) にかけて不連続に減少した。このような変化は Cr-rich rim の成長過程で起きた系の乱れが原因だと考えられる[4]。これ



らの事実から、Cr 含有量を増加させる流体の流入などの交代作用により、Cr-rich rim が形成したのかもしれない。

引用文献 [1] Hiramatsu et al.

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

Keywords: garnet peridotite, Su-Lu region, Chijiadian

*Corresponding author:

oikawa.yuu.34m@st.kyoto-u.ac.jp

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

YABUTA Wataru* and HIRAJIMA Takao

Graduate School of Science, Kyoto University

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

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

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

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

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

The post-peak veins are mostly mono mineralic, consisting of todorokite and Ba-bg. adularia. Todorokite is remarkable for containing fluid mobile elements (i.e., Ba and K), 10 wt% of H₂O and Mn⁴⁺, which represents extremely high oxygen fugacity. Other veins add Aeg-rich part to near-peak Na-pyroxene veins, suggesting alkali-rich fluids(cf. Malaspina et al., 2012). These facts strongly suggest that highly-oxidized and alkali-rich fluids infiltrated in later stages. And to our surprise, no such post-peak veins are found in LBS in the study area, except for albite, calcite and quartz.

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

Keywords: subduction zone, metacherts, deep-fluids

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

福岡県宗像市南西部市境域に産する緑色結晶片岩

棟上俊二* (福岡教育大学)

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

TOJO, Shunji* (Fukuoka Kyoiku Daigaku)

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

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

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

一般的な緑色片岩がそうであるように、

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

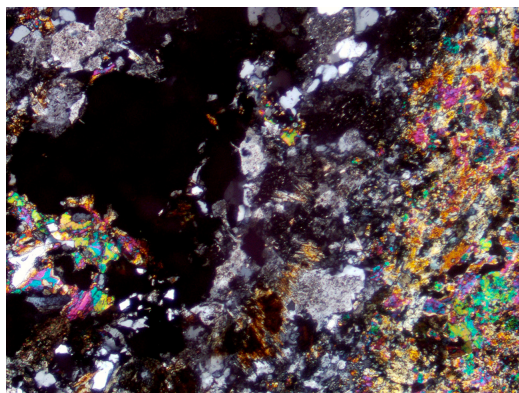


図 1. 直交ニコル，底辺約 1.2mm

引用文献

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

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

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

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

佐賀県神埼市に産する変成岩の化学組成

宮本知治(九州大学)

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

Tomoharu Miyamoto (Kyushu University)

Low to medium grade metamorphic rocks were found at the center area of the Kanzaki City, Saga Prefecture. They are composed mainly from basic schist with fine hornblende and plagioclase with subsequent quartz, and are partly found of pelitic schist with fine biotite and muscovite. They show similar schistosity with almost E-W direction. These are regarded as western extension of the Sangun-Renge belt (e.g., Shibata and Nishimura, 1989; Nishimura, 1990). The basic schists were analyzed for whole rock composition by XRF system for be considered the origin. The basic schists were composed from 44.9 - 51.1 wt.% of SiO₂, 5.0 - 8.6 wt.% of MgO, 2.39 - 3.79 wt.% of Na₂O and 0.04 - 0.66 wt.% of K₂O. The composition has spread to both subalkali to alkali fields on Na₂O + K₂O - SiO₂ diagram. On spidergram, moderate enrichment of LIL elements and negative spike on Nb were found for the basic schists. On the other hand, their HFS elements compositions were resembled to those of N-type MORB or E-type MORB (Sun and McDonough, 1989). Especially, their Ti-Y-Zr and Y-Zr-Nb relations were discriminated to within-plate basalts, MORB, island-arc-tholeiite, and calc-alkali basalts (Pearce and Cann, 1973), and within-plate tholeiite, N-type MORB and volcanic-arc basalts (Meschede, 1986), respectively. Considering these characteristics, it is considered that the basic schist originated from rocks equivalent to MORB added with alkali elements before metamorphism, or perhaps their original mafic rocks were produced by remelting of subducting MORB with a little crustal assimilation involved in its igneous activity.

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

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

Keywords: Basic Schist, Kanzaki-Saga, western extension of Renge belt, Origin.

*Corresponding author: miyamoto@geo.kyushu-u.ac.jp

南極大陸産超高温変成岩中の輝石の微細組織の特徴

藤 昇一 (福岡大学理学部)、宮本 知治 (九州大学理学部)

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

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

Tomoharu MIYAMOTO (Kyushu Univ. Faculty of Science)

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

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

本研究においては南極大陸において採取した超高温変成岩中の輝石内に、特徴的な離溶組織を見出した。輝石の離溶現象に関する研究から明らかとなっている基本原理に基づき、組織形成プロセスについての作業仮説を立てた。本研究ではその仮説を検証し、必要に応じて再構築することで、特徴的な組織

形成に至った温度履歴を明らかにすることを目的とする。具体的な方策としては、偏光顕微鏡、SEM および EPMA を用い丹念な観察・分析を行った。さらに透過型電子顕微鏡をもちいて、離溶相界面の方位を電子回折パターンおよび明視野像から明らかにする。偏光顕微鏡による組織観察、および EPMA の分析結果からは、母相とラメラ間で Ca と Fe のみが置換している可能性が示唆されている。現在、特にこの点について組織との相関を検討している。

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

Keywords: Metamorphic rock, Pyroxene, Microstructure, Exsolution

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

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

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

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

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

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

Fe-Al に富むグラニュライトは、主に堇青石、スピネル、ザクロ石、アルカリ長石、斜長石から構成される。珪線石や斜方輝石を伴うことがあるが、両者は異なる試料にそれぞれ含まれる。以下のような変成組織が認められる。① ザクロ石は斑状変晶として産するものと、スピネルやイルメナイトの周縁にコロナとして産するものがある。ザクロ石コロナはザクロ石斑状変晶のリムと同様の化学組成であることから、後退変成作用時に形成した可能性が高い。② 試料には多量のスピネルが認められ、微細で集塊として産するもの、珪線石の周辺でシンプレクタイトとして産するもの、比較的粗粒で内部に微細包有物を含むもの、ザクロ石の包有物として産するものなどがある。

スピネルに包有される微細包有物はダイアスポア [Al₂(OH)] が最も多く、まれに石英、コランダム、黒雲母などが認められる。スピネル (包有物を除く) の周縁には堇青石のコロナが発達する。③ アルカリ長石は、透明で内部に包有物を含まないものと、赤みを帯び内部に極微細なラメラやルチルを包有するものがある。これらのアルカリ長石には丸みを帯びた堇青石や短柱状の堇青石が認められる。また一部の堇青石の内部に自形のザクロ石が認められることがある。④ 斜方輝石は微細な黒雲母と石英のシンプレクタイトによって置換されることが多い。

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

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

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

*Corresponding author,

baba@edu.u-ryukyu.ac.jp

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

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

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

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

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

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

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

コランダムは、粒径 10~50 ミクロンの自形~半自形結晶で、石英および黒雲母とともにザクロ石中の包有物として産する。ザクロ石中の包有物として近傍には、Zn に富むスピネル、ルチル、イルメナイトなどが認められる。コランダムは、石英と黒雲母に取り囲まれるような形状を示す。ザクロ石にはコア(alm63prp33grs02sps02)からリム(alm77prp15grs03sps04)への組成累帯構造が認められ、コランダムを含む包有物集合体やスピ

ネルなどの包有物は prp 成分に富むコアの部分に産する。コランダムと共存する黒雲母中の F、Cl、TiO₂ 含有量はそれぞれ 0.5~0.8wt%、0.3~0.4wt%、1.3~1.8wt%で、試料中の他の黒雲母中の F(0.2~0.8wt%)、Cl(0.3~0.4wt%)、TiO₂(0.6~2.4wt%)含有量と比べて顕著な特徴は認められない。なお、TiO₂ 含有量については、ザクロ石中の包有物として産する黒雲母中の TiO₂ はマトリクスのもものと比べて概して高い。スピネル中の ZnO 含有量は場所ごと粒子ごとに異なり、8~24wt%の範囲で大きく変化する。

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

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

Keywords: Antarctica, corundum, pelitic gneiss

*Corresponding author: hokada@nipr.ac.jp

東南極ドロンイングモードランド東部の地質： スリランカとのリンク

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

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

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

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

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

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

その上で、スリランカの最近の年代データ

(例えば、Kitano et al., 2018) ともあわせて、LHC のサブユニットは Kitano et al. (2018) で示唆されるようにスリランカの Highland Complex 及び Wann Complex と対比され、YMC は Shiraishi et al. (1994) で示唆されていたようにスリランカの Vijayan Complex と対比される。

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

Keywords: Antarctica, Gondwana, Sri Lanka

*Corresponding author: hokada@nipr.ac.jp

西南日本九州北部に分布する三郡変成帯結晶片岩の 砕屑性ジルコン後背地の多様性

北野 一平*, 小山内 康人, 中野 伸彦, 足立 達朗 (九州大)

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

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

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

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

影響が認められる。

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

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

Keywords: crystalline schist, detrital zircon age, Sangun metamorphic belt, northern Kyushu, Southwest Japan

*Corresponding author: 3GS14010G@gmail.com

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

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

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

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

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

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

佐藤史彦*, ダス カウシク

(広島大・院・理)

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

Fumihiko Sato*, Kaushik Das

(Hiroshima Uni. Grad. Sci)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

鏡肌を構成する物質の変形特性

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

Deformation characteristics of constituent material of slickenside

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

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

研究方法： 天然に露出する鏡肌の観察には、チャート、石灰岩、角閃岩、蛇紋岩、クロム鉄鉱岩、炭質泥岩、砂岩、泥岩、凝灰角礫岩中に発達する計 15 種類の試料を用いた。微細組織の観察には、偏光顕微鏡と共に、高空間分解能機器として原子間力顕微鏡、分析透過型電子顕微鏡、電子線後方散乱回折装置付き走査型電子顕微鏡、放射光起源の軟 X 線照射による XANES 測定を用いた多角的な方法を用いた。また鏡肌を再現する断層運動の模擬実験では、高速回転摩擦試験機と二軸摩擦

試験機を使用し、Carrara marble の「ブロック」と「粉末」の 2 種類を実験に用いた。実験条件は、高速回転摩擦試験機と二軸摩擦試験機に対して各々、垂直応力 1.0–10.0 MPa、すべり速度 0.1 m/s、すべり変位量は最大 5.0 m と、垂直応力 10–80 MP、すべり速度 30 $\mu\text{m/s}$ 、すべり変位は最大 111.5 mm とした。

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

Keywords: Slickenside, Microstructure, Fault strength, Frictional coefficient

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

福岡県篠栗地域に露出する アンチゴライト蛇紋岩の変形特性

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

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

Y. Iwasaki* (Hiroshima Univ.), J. Ando (Hiroshima Univ.), K. Das (Hiroshima Univ.),

D. P. Sarkar (Hiroshima Univ.), S. Uehara (Kyushu Univ.), H. Ohfuji (Ehime Univ.)

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

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

結果と考察: 研究対象とした粗粒 Atg 蛇紋岩体中を微細組織により区分すると、マイロナイトに向かい、1) 粗粒 Atg 蛇紋岩、2) 粗粒-細粒 Atg 蛇紋岩、3) マイロナイト Atg 蛇紋岩の 3 タイプに分類できる。1) は緑色塊状を呈し、数 mm-1 cm の鱗片状 Atg から構

成される。Atg は定向配列を示さないが、顕著な波動消光を示す。2) 中の Atg の粒径や無定向配列の様子は 1) のものと同一であるが、Atg 単結晶内部で動的再結晶に伴う亜結晶化が進行している。3) は緑色を呈し、約 10 μm の針状 Atg の [010] が線構造に平行に、(001) 面が面構造にほぼ平行に発達することでマイロナイトが形成されている。これらの観察結果は、タイプ 1) から 2)、3) の順に、Atg 結晶中の欠陥形成（亜結晶粒の形成）と、その後の細粒化、定向配列の形成によって Atg の塑性変形が進行することを示唆する。

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

Keywords: Antigorite, Plasticity, microstructure

*Corresponding author: m186027@hiroshima-u.ac.jp

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

中村佳博* (産総研)

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

Yoshihiro NAKAMURA* (Geological Survey of Japan, AIST)

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

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

ナイト化の過程で phyllonite が形成されたと推定される.

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

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

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

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

モナザイト・ゼノタイム CHIME 岩石年代学

による隠岐片麻岩の複変成履歴

遠藤俊祐*・吉田 宏（島根大）

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

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

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

南部の銚子, 東郷, 大久地域の泥質片麻岩
は, ざくろ石+黒雲母+斜長石+石英+珪線
石+スピネル+堇青石 (仮像)+石墨+モナ
ザイト+ジルコン+ゼノタイムの鉱物組合
せをもち, 優白質部には珪線石を置換する紅
柱石がみられる. ざくろ石は他形で組成は完
全に均質化している. ざくろ石中の微小な
モナザイト包有物はすべて約 1.85 Ga の年代
を示す. ざくろ石の縁部に一部包有されるモ
ナザイト粒子は, Y に乏しい 1.8 Ga の領域が
基質に面して Y に富む 250 Ma の領域 (ゼノ
タイムと共存) に置き換えられている. 基質

のモナザイトは約 250Ma の年代を示す. ゼノ
タイムは他形のざくろ石周囲の湾入部付近
にのみ存在し, 年代は一樣に約 250Ma を示す.

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

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

Keywords: CHIME, monazite, xenotime

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