

東南極リュツォ・ホルム岩体スカレビックハルセン産ザクロ石-珪線石片麻岩に記録された複変成作用と塩水流入

Possible polymetamorphism and brine infiltration recorded in the garnet-sillimanite gneiss, Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica

\*河上 哲生<sup>1</sup>、外田 智千<sup>2</sup>、坂田 周平<sup>1</sup>、平田 岳史<sup>1</sup>

\*Tetsuo Kawakami<sup>1</sup>, Tomokazu Hokada<sup>2</sup>, Shuhei Sakata<sup>1</sup>, Takafumi Hirata<sup>1</sup>

1.京都大学大学院理学研究科、2.国立極地研究所

1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.National Institute of Polar Research

The core of garnet porphyroblasts in the garnet-sillimanite gneiss from Skallevikshalsen, Lützow-Holm Complex, East Antarctica, includes Cl-rich (>0.3wt%Cl) biotite and nanogranite/felsite inclusions (former granitic melt). These are estimated to be stable at >1.2 GPa and 820-850 °C. Rare occurrence of matrix biotite suggests almost complete consumption of pre-existed matrix biotite during prograde to peak metamorphism. Brine infiltration during prograde to peak metamorphism is supported by Cl-rich scapolite described in previous studies [e.g., 1]. Brine infiltration and progress of continuous biotite-consuming melting reactions were probably responsible for elevating the Cl content of biotite.

*In situ* electron microprobe U-Th-Pb dating of monazite and the *in situ* LA-ICPMS U-Pb dating of zircon in the garnet-sillimanite gneiss revealed that both monazite and zircon has the 'older age population' with ca. 650-580 Ma and the 'younger age population' with ca. 560-500 Ma. The REE and trace element pattern of one of the P-rich patches in the garnet core is different from the P-rich garnet rim. The isotope mapping of the same patch by LA-ICPMS revealed that the patch is also observed as a domain depleted in <sup>51</sup>V, <sup>89</sup>Y, <sup>165</sup>Ho, <sup>166</sup>Er, <sup>169</sup>Tm, <sup>172</sup>Yb, and <sup>175</sup>Lu. Clear difference in <sup>51</sup>V concentration between the patch and the rim of the garnet suggests that this patch is not a continuous part from the garnet rim, but is likely a relic of preexisted garnet. Kyanite included in the patch suggests that medium- to high-pressure type metamorphic rock was the precursor. Presence of the older age population (ca. 650-580 Ma) monazites in Skallevikshalsen and Skallen [2] also suggest that rocks in these areas experienced polymetamorphism, and resetting by the ca. 560-500 Ma metamorphic event was incomplete. Taking into account the presence of Cl-rich biotite inclusions in garnet, infiltration of brine accompanied by partial melting is one probable event that took place at ca. 560-500 Ma in the Skallevikshalsen area, and part of the monazite possibly recrystallized by this brine infiltration.

References: [1] Satish-Kumar et al., 2006, JMG. [2] Hokada and Motoyoshi, 2006, Polar Geosci.

キーワード：塩水、部分溶融、大陸衝突、モナズ石、ジルコン、複変成作用

Keywords: brine, partial melting, continental collision, monazite, zircon, polymetamorphism

## 角閃岩相高温部における塩素に富む鉱物を含む脈周辺の組織形成過程の検討

Possible process of microstructure formation around Cl-rich mineral-bearing vein under upper amphibolite facies conditions

\*東野 文子<sup>1</sup>、河上 哲生<sup>1</sup>、土屋 範芳<sup>2</sup>、Satish-Kumar Madhusoodhan<sup>3</sup>、石川 正弘<sup>4</sup>、Grantham Geoffrey<sup>5</sup>、坂田 周平<sup>1</sup>、服部 健太郎<sup>1</sup>、平田 岳史<sup>1</sup>

\*Fumiko Higashino<sup>1</sup>, Tetsuo Kawakami<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>2</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>3</sup>, Masahiro Ishikawa<sup>4</sup>, Geoffrey Grantham<sup>5</sup>, Shuhei Sakata<sup>1</sup>, Kentaro Hattori<sup>1</sup>, Takafumi Hirata<sup>1</sup>

1.京都大学大学院理学研究科、2.東北大学、3.新潟大学、4.横浜国立大学、5.ヨハネスブルグ大学  
1.Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Tohoku University, 3.Niigata University,  
4.Tokohama National University, 5.University of Johannesburg

Fluids in the crust play important roles in heat and mass transfer. Evidence for the presence of fluids in the deep crust is recorded as fluid inclusions or as hydrous minerals. Existence of brines in the deep crust is recently recognized in addition to CO<sub>2</sub>-rich fluids (e.g., Newton et al., 1998; Shmulovich & Graham, 2004). Brines have higher solubility of minerals and lower viscosity and wetting angle than CO<sub>2</sub>-rich fluids. This makes it possible to induce mass transfer along grain boundaries over vast distances on the km scale (e.g., Harlov, 2012), while it is difficult to be preserved in rocks as fluid inclusions. Therefore, it is important to establish microstructural indicators of the presence of brine in order to understand the distribution and role of brine in the crust.

This study deals with about 1 cm-thick garnet-hornblende (Grt-Hbl) vein that discordantly cuts the gneissose structure of garnet-orthopyroxene-hornblende (Grt-Opx-Hbl) gneiss from Brattnipene, Sor Rondane Mountains (SRM), East Antarctica. The Grt-Hbl vein is likely to have been formed from the wall rock, because the continuous gneissose structure is preserved as arrangements of biotite inclusions in the vein-forming Grt. With distance from the vein center, Cl concentration of Hbl and biotite (Bt), K content of Hbl, and thickness of Na-richer rim of plagioclase (Pl) decrease and become constant at a few cm away from the vein center. These compositional changes imply that the Grt-Hbl vein was possibly formed by NaCl-KCl-bearing fluid or melt infiltration. The *P-T* conditions for the vein formation is estimated to be ca. 700°C and 0.7 GPa, using geothermobarometers.

In this study, Zr is confirmed as immobile during the Grt-Hbl vein formation by almost constant bulk rock Zr content with distance from the vein (Higashino et al., 2015). Using Zr as an immobile element, the mass balance analysis was performed based on the fractionation mass change value (Ague, 2003). The bulk rock chemical variation with distance from the vein was evaluated. As a result, elements which are compatible to alkali-chloride-rich fluid (Keppler, 1996) were added to the wall rock rather than melt compatible and chloride-free-fluid compatible elements (Keppler, 1996). This supports that the Grt-Hbl vein was formed by brine infiltration.

In addition to Na, K and Cl concentrations, some trace element concentrations of constituent minerals gradually decrease or increase with distance from the vein center and become constant. It is important to note that distances where the trace element concentrations become constant are dependent on elements, and not on mineral species. These decreasing/increasing trends show diffusion-like profiles with distance from the vein. Trace element zoning within each grain is small, and almost negligible compared to chemical variation with distance from the vein. However, Pl preserves discontinuous zoning in terms of anorthite content. Discontinuous boundary between Pl rim and mantle implies that the brine infiltration caused dissolution-precipitation process. The preserved sharp mantle-rim boundary compared to flat zoning profile of trace elements would be

explained by the sluggish NaSi-CaAl interdiffusion compared to the lattice diffusion of trace elements (e.g., Grove et al., 1984; Cherniak, 1995). It is likely that the brine infiltrated through the grain boundaries and altered the rim composition of minerals. Therefore, microstructure indicating dissolution-reprecipitation process, such as stepwise zoning of anorthite content of plagioclase, coexisting with Cl-bearing minerals may become an indicator of passage of brines. Field mapping of these microstructures would have a potential to unravel the large-scale distributions and movement of brines in the lower crust.

キーワード：塩水、交代作用、界面溶解—再沈殿プロセス、大陸地殻

Keywords: brine, metasomatism, dissolution-reprecipitation, continental crust

領家帯三河地域の片麻状花崗岩類から得られた広域変成作用よりも若いU-Pbジルコン年代  
 U-Pb zircon ages younger than regional metamorphism obtained from gneissose granitoids in  
 the Mikawa area, Ryoike belt

\*高塚 紘太<sup>1</sup>、河上 哲生<sup>1</sup>、スクリペク エティエン<sup>1</sup>、坂田 周平<sup>2</sup>、大林 秀行<sup>1</sup>、平田 岳史<sup>1</sup>

\*Kota Takatsuka<sup>1</sup>, Tetsuo Kawakami<sup>1</sup>, Etienne Skrzypek<sup>1</sup>, Shuhei Sakata<sup>2</sup>, Hideyuki Obayashi<sup>1</sup>, Takafumi Hirata<sup>1</sup>

1.京都大学、2.東京大学

1.Kyoto University, 2.University of Tokyo

領家帯は白亜紀後期の高温低圧型変成岩類と深成岩類から構成されており、アジア大陸東縁におけるマグマ活動を記録している。愛知県三河地域では広域変成作用時から連続的に深成岩類が貫入しているため[1]、海洋プレート沈み込みに伴う長期間のマグマ活動の時間空間変化と高温低圧型変成岩類形成の関係を観察することができる。

本地域に産する花崗岩類は岩相や貫入関係に基づいて岩体の区分がなされてきた[2]。中でも、片麻状構造を持ち古期領家花崗岩類に分類される神原トータル岩と天竜峡花崗岩は本地域に広く点在し、領家広域変成作用の熱源となった深成岩類と考えられている[3]。このことはCHIMEモナズ石年代（領家変成岩、102-98 Ma; 神原トータル岩、約95 Ma; 天竜峡花崗岩、約91 Ma）[1]や、古期領家花崗岩類の多くが変成岩の構造的低位に分布していることから支持されてきた。

しかし近年、山口県柳井地域の領家帯では、一部の花崗岩類でU-Pbジルコン年代とCHIMEモナズ石年代の不一致や、塊状花崗岩類が片麻状花崗岩類より古いU-Pbジルコン年代を示すことが報告されている[4]。本研究では、愛知県三河地域の領家帯に産する片麻状花崗岩類について、LA-ICP-MSによるU-Pbジルコン年代測定及び岩石学的観察に基づき、片麻状構造の有無が、花崗岩貫入時期の適切な指標であるかを検討した。

本研究で用いた試料は、足助図幅地域内の下山に産する神原トータル岩2試料、蒲郡から豊川にかけて産する神原トータル岩1試料と天竜峡花崗岩3試料である。全ての試料に黒雲母や角閃石の配列による片麻状構造が見られ、その構造は岩体周辺の変成岩類と調和的である。豊川の岩体は、本地域で最も変成度の高いざくろ石-堇青石帯の変成岩類中に貫入している[5]。蒲郡の岩体は珪線石-カリ長石帯[6]の変成岩類の構造的低位に貫入している。これらの岩体と変成岩類との接触部は確認されていない。下山の岩体は黒雲母帯の見かけ上位に産するが、どの変成度の変成岩類に貫入しているかは明かではない。

上記6試料に対してLA-ICP-MSによるU-Pbジルコン年代測定を行った。年代値はコンコーダントな分析点の<sup>238</sup>U-<sup>206</sup>Pb加重平均年代(±2σ)として示す。豊川の岩体から得られた年代値は77.5±0.6 Ma及び77.1±0.6 Maであり、蒲郡の岩体から得られた年代値はともに81.1±1.0 Maであった。下山の岩体から得られた年代値は98.9±0.9 Ma及び99.4±0.9 Maであった。これらの年代値は各岩体の固結年代と解釈できる。

蒲郡では、本研究で採取した試料と同じ岩体から92.2±6.0 MaのCHIMEモナズ石年代[1]が報告されているが、本研究で得られたU-Pbジルコン年代より約10 Ma古い。現段階においてU-Pbジルコン年代とCHIMEモナズ石年代の差異の原因は明らかではない。

下山の片麻状花崗岩体から得られた約99 Maの年代値は、変成岩類から報告されているCHIMEモナズ石年代(102-98 Ma) [1]と調和的である。一方、豊川及び蒲郡の片麻状花崗岩体から得られた81-77 Maの年代値は、本地域の領家広域変成作用のピーク年代と解釈されているミグマタイト中のジルコンのSHRIMPによるU-Pb年代(優白質部、87.4±0.2 Ma; 優黒質部、87.1±0.5 Ma) [7]より若い。従って、花崗岩類の片麻状構造の有無から、領家広域変成作用の昇温期およびピーク変成期に活動した花崗岩類であるか否かの判断はできない。さらに、豊川及び蒲郡に露出する片麻状花崗岩類の年代値は変成岩類のピーク年代より若く、これらの岩体が領家広域変成作用の熱源になるとは考えにくい。

#### 引用文献

- [1]Suzuki & Adachi, 1998, JMG. [2]領家研究グループ, 1972, 地球科学. [3]原山ほか, 1985, 地球科学. [4]Skrzypek et al., in review. [5]宮崎ほか, 2008, 御油地域5万分の1図幅. [6]Asami, 1977, 岩鉱.

[7]Nakajima et al., 2013, SHRIMP Workshop講演要旨.

キーワード：領家帯、LA-ICP-MS、U-Pbジルコン年代、片麻状花崗岩類

Keywords: Ryoke belt, LA-ICP-MS, U-Pb zircon dating, Gneissose granitoid

領家帯は白亜紀の火山弧直下で形成されたのか？

Did the Ryoke belt form beneath the Cretaceous volcanic arc?

\*西山 忠男<sup>1</sup>

\*Tadao Nishiyama<sup>1</sup>

1.熊本大学自然科学研究科理学専攻地球環境科学講座

1.Department of Earth and Environmental Sciences, School of Science, Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University

西南日本のテクトニクスを論ずる上で大きな問題となるのが、白亜紀低温高圧型変成帯である三波川帯と高温低圧変成帯である領家帯が中央構造線を境に接している関係である。三波川帯は沈み込み帯の変成岩であり、領家帯は火山弧の地殻中下部で形成されたと考えられている。両者の間にはarc-trench gapが存在したはずであり、その距離は今日の島弧-海溝系から考えて100km程度であったと推定される。そのように離れて存在していた両者を接合させるに至ったテクトニクスはどのようなものであったのか？それが本講演で議論する問題である。この問題に新たな切り口を与えたのが、Ito et al.(2009)である。彼らは地震波探査により西南日本の地殻構造を解明した。その結果、驚くべき事実が明らかになった。それはSSP (Seto Subsurface Prism)と称された領家帯のプリズム構造である。SSPは幅60 km、深さ20kmに達する二等辺三角形の断面を示すプリズムで、南は中央構造線で三波川帯と接し、北は内帯のナップ群に漸移するように見える。このSSPの実態は地表では領家帯ならびに山陽帯の花崗岩類と変成岩類である。地下においても同様であると考えて良いであろう。中国・四国地方の領家帯は、南側（四国側）において塩基性岩が多く花崗岩中に産し（Nakajima et al., 2004など）、北側（山陽側）に変成岩類が産し、その変成度は北から南に増加する（Nakajima, 1994; Ikeda, 2004など）。領家帯の花崗岩類はチタン鉄鉱系列に属し、山陽帯から山陰帯へ向かって磁鉄鉱系列の花崗岩へと変化する（Ishihara, 1977）。従来の考えでは、領家帯は現在の中国地方に想定される白亜紀火山弧の地殻中下部で形成されたとされている（Nakajima, 1994など）。講演ではその考えの矛盾を示す。以下では、領家帯の形成場に関してIto et al.(2009)の地殻構造断面に基づく新たな仮説を提示する。SSPの形態は、北米西岸のGreat Valley forearc basinに酷似している。SSPは本来、前弧堆積盆に相当する場所の堆積物であって、それが部分溶融によって花崗岩を形成したのでないか、というのが新たな仮説の骨子である。すなわち、領家帯は現在の位置（かつての前弧堆積盆）においてin situに形成されたのではないか、という考えである。領家帯変成岩の原岩は、ジュラ紀付加体であることが知られているから、付加体の形成過程において、木村（1998）が議論したようなout-of-sequence thrustによって付加体の厚化が起こり、それは側方に発達して火山弧周辺でナップを形成するとともに、前弧においては厚い堆積体となったと推定される。SSPはそのようにして形成された前弧堆積盆に相当する場所の厚い堆積物であると考えられる。部分溶融の熱源は、放射性壊変による熱と、領家帯南部に貫入している塩基性岩の熱が考えられる。このように堆積物の部分溶融によって領家帯花崗岩が形成されたとする考えは、領家帯花崗岩の大半がI-タイプであるという事実と矛盾するよう見える。しかし領家帯花崗岩の大半はチタン鉄鉱系列に属し、還元的な環境下で形成されており、堆積物の部分溶融や同化が花崗岩の形成に大きく寄与している可能性は高い。変成岩の形成圧力を考えると、現在の地表に露出している領家帯変成岩は、地下約15km程度まで埋没していたことが推定される。すなわち、現在のSSPよりさらに15km程度深い前弧堆積盆が存在していたことが示唆される。そのように厚い堆積物は、下位の三波川帯の岩石に圧力をかけ、その上昇に寄与した可能性がある。また厚い堆積盆はやがてアイソスタシーを保つために浮力によって隆起し、その上部が浸食剝削されて、現在の変成岩が露出するに至った可能性がある。Ikeda, T.(2004) *CMP*, 146, 577-589. Ishihara, S.(1977) *Mining Geol.*,27, 293-305. Nakajima, T.(1994) *Lithos*, 33, 51-66. Nakajima, T. (2004) *Trans. Royal Soc. Edinburgh*, 95, 249-263. 木村（1998）*地質学論集*, 50、131-146.

キーワード：領家帯、火山弧、対の変成帯

Keywords: Ryoke belt, volcanic arc, paired metamorphic belt

地殻スケールの粘性流体上昇パターンと高温型変成帯に関連した北部九州白亜紀中頃の地質  
Crustal-scale pattern of rising buoyancy of viscous fluids and mid Cretaceous geology  
related to high-temperature metamorphic belt in northern Kyushu, Japan

\*宮崎 一博<sup>1</sup>、松浦 浩久<sup>1</sup>、池田 剛<sup>2</sup>

\*Kazuhiro Miyazaki<sup>1</sup>, Hirohisa Matsuura<sup>1</sup>, Takeshi Ikeda<sup>2</sup>

1.産業技術総合研究所 地質情報研究部門 地殻岩石研究グループ、2.九州大学大学院理学府 地球惑星科学専攻 岩石循環科学

1.Orogenic Processes Research Group, Institute of Geology and Geoinformation, Geological Survey of Japan/National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, 2.Petrology and Volcanology, Department of Earth and Planetary Sciences, Kyushu University

粘性流体が浮力上昇する場合に形成される地殻スケールのパターンと、白亜紀中頃の北部九州における高温型変成帯と同時期に形成された地層岩体の分布形態との比較を行った。地殻スケールの粘性流体シミュレーションでは、粘性流体浮力上昇パターンが、粘性率及び密度コントラストが小さい場合はダイヤピル状に、大きい場合は枝分か裂した岩脈状になった。両者の遷移領域では、岩脈状と瘤状からなるパターンが出現する。このパターンはストックあるいはバソリス状深成岩体と類似している。シミュレーションでは下底部をゆっくり水平移動させている。粘性率及び密度コントラストが小さく、ダイヤピル上昇速度が水平移動速度と同程度の場合、水平方向へ引き延ばされた変成帯様の構造が形成された。このように、粘性率及び密度コントラストが大きくなるにつれ、浮力上昇する粘性流体のパターンが変成帯様、ダイヤピル状、瘤-岩脈状、岩脈状へと変化した。

一方、白亜紀中頃の北部九州の地層岩体分布から以下のことが言える。1) 地殻浅部から深部(～25km)まで、周防変成岩(智頭変成岩相当も含む)が分布していた。2) 大量の珪長質深成岩バソリスが深度10km前後で周防変成岩に貫入している。3) 北部九州南部の大牟田地域では、周防変成岩を原岩とし、深度20-25 kmで形成された高温型変成岩が露出している。4) 北部九州北部では関門層群中に珪長質火山岩が挟在する。上記2)及び3)のジルコンU-Pb年代は107-97 Ma(珪長質深成岩類)と105.1±5.1 Ma(高温型変成岩)である(宮崎ほか, 2014)。今回、関門層群珪長質火山岩のジルコンU-Pb年代測定を行い、111.6±0.8 Ma(脇野垂層群)と106.3±0.7 Ma(下関垂層群)の年代を得た。白亜紀中頃の北部九州では、火山岩噴出を伴う堆積盆、深成岩バソリス、高温型変成帯の形成が同時期に起きていたことを示している。

高温型変成帯、バソリス状深成岩体、堆積盆堆積物に挟在する火山岩はいずれも、地殻深部からメルト、マグマ、メルト・固体の混合体が上昇してきたものである。シミュレーションの結果から、地殻深部でのメルトと固体岩石の分離が進まない場合は、粘性率及び密度コントラストが小さく、変成帯様の構造を生じながら部分溶解した変成岩がゆっくり上昇する。すなわち、火山弧から海溝側へのマンツルの水平移流に引きずられて北部九州地殻深部に広範囲に高温型変成帯が形成されていた可能性が示唆される。一方、メルトと固体岩石の分離が進んだ場合、バソリス状深成岩体の貫入、あるいは岩脈状に上昇し火山岩として噴出する。シミュレーションでは、低密度低粘性流体の岩脈状上昇パターンを生じるが、その場合、粘性流体地殻の変形速度は極端に速くなる。実際の地殻はそうのように速く塑性変形できない。現実的には、マグマが周囲の地殻を脆性破壊し、岩脈として上昇すると考えられる。加えて、巨大なバソリス形成域や高温型変成帯上昇域周囲には、地表面の相対的下降域が形成されると予想される。北部九州北部の関門層群はそのような下降域(堆積盆)に堆積した可能性がある。

引用文献: 宮崎ほか(2014) 日本地質学会第121年学術大会, 講演要旨, p.70.

キーワード: 地殻、変成帯、粘性流体、北部九州、高温型変成岩

Keywords: Crust, Metamorphic belt, Viscous fluids, Northern Kyushu, High-temperature metamorphic rocks

## ざくろ石のケリファイト化に伴う物質移動—その2：内部応力によって生じた変成分化？

Material transfer in kelyphitization of garnet (part 2): metamorphic differentiation caused by the internal stress?

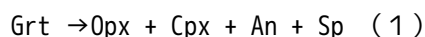
\*小畑 正明<sup>1</sup>

\*Masaaki Obata<sup>1</sup>

1.京都大学大学院理学研究科

1.Graduate School of Science, Kyoto University

ざくろ石が分解してケリファイトに転移するとき、長距離物質移動によりバルク組成が元のざくろ石から変化するとはよく知られた現象である。このことからケリファイト化は物質の出入りを伴う開放系の反応であると従来考えられていた。我々はかつて、局所的にはバルク組成が変化するもののケリファイト全体平均組成としてはざくろ石組成に一致する、累帯構造を有するケリファイトを報告し、閉じた系における物質移動の例として報告した(小畑, 2014)。本講演では同じ素材を用いてこの変成分化のメカニズムをより具体的に考察する。エッセンスは体積増加反応と反応の進行によって発生すると考えられる内部応力および応力勾配にある。使ったサンプルはスペインロンダ岩体に産するざくろ石輝岩(サンプル, R410)である。岩石はざくろ石, Alに富んだ単斜輝石(Cpx), 斜長石(Pl, An<sub>60</sub>)と少量の石英からなるマフィックグラニュライトである。ざくろ石を置き換えるように発達するケリファイトは斜方輝石(Opx), スピネル(Sp), Pl, Cpxからなる細粒集合体(シンプレクタイト)であるが次の様な同心円的組成累帯構造を示す。すなわち内側は, Opx, Sp, Plからなり、組織的には斜長石マトリクス中に繊維状のOpx が整然と並んだマトリクス中にSp-Opx シンプレクタイトがパッチ状に散在するという2重構造を示す。外側はこのSp-Opx シンプレクタイトパッチの占める割合が多くなり斜長石は存在しなくなる。この外側に偏在するSp-Opxシンプレクタイト部には、局所的に極端に細粒のSp-Cpx-Opxシンプレクタイトが産する。加えてSp-Opxシンプレクタイトの粗大化した部分には少量のCpxも産する。これら種々のシンプレクタイト、ケリファイトについて電子線マイクロプローブで拡大ビーム径(3, 10ミクロン)を使い分けてバルク組成を求めたところ、内側のバルクはざくろ石組成よりもSi, Al, Caに富み、Mg, Feに乏しく、外側のSp-Cpx-Opxシンプレクタイトバルク組成はその逆であり、両者を適当な比に混ぜると、Na以外は元のざくろ石組成に一致させることができるということが分かった。ざくろ石の分解反応は全体としては



であるが、局所的には元素の出入りを伴う二つの交代反応(metasomatic reaction)の組み合わせで考えられることを示す。具体的には、ざくろ石分解反応はケリファイトとざくろ石境界部の第1反応前線で起きるはずであるが、ここは固体ケリファイト殻に囲まれているので体積の自由な増加は許されないため、応力の増大と物質の流出が起こることが考えられる。内側から外に向かって移動する成分は外周の第2の反応前線で再び反応して前にできていた斜長石を消費しSp-Cpx-Opxシンプレクタイトを形成したと考えられる。講演ではケリファイトのローカルバルク組成に基づいて各部における交代反応と物質移動を導出し、このような物質移動と変成分化は反応の進行によりケリファイト内に発生した応力と応力勾配によって引き起こされたという新しいモデルを提示する。

キーワード：ケリファイト、ざくろ石、物質移動、変成分化、内部応力、ロンダかんらん岩

Keywords: kelyphite, garnet, material transfer, metamorphic differentiation, internal stress, Ronda peridotite



ラマン分光法を用いた堇青石チャンネル中のCO<sub>2</sub>定量法Determination of channel CO<sub>2</sub> contents in random cordierite crystals using Raman spectroscopy\*阿部 都<sup>1</sup>、Satish-Kumar Madhusoodhan<sup>2</sup>、鍵 裕之<sup>3</sup>、Harley Simon<sup>4</sup>\*Miyako Abe<sup>1</sup>、Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>2</sup>、Hiroyuki Kagi<sup>3</sup>、Simon Harley<sup>4</sup>

1.新潟大学大学院自然科学研究科、2.新潟大学理学部地質科学科、3.東京大学大学院理学系研究科附属地殻化学実験施設、4.エディンバラ大学地球科学科

1.Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2.Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, 3.Geochemical Research Center, Graduate School of Science, University of Tokyo, 4.School of Geosciences, The University of Edinburgh

Cordierite is a common metamorphic mineral, which entraps volatiles such as CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O in its channel, consisting of six-membered rings of (Al, Si) O<sub>4</sub>. Carbon dioxide is orientated linearly along the *a*-axis in cordierite channel, and therefore the peak intensity of CO<sub>2</sub> at 1383cm<sup>-1</sup> obtained from Raman spectroscopy varies considerably depending on the crystal orientation of cordierite. Kaindl et al. (2006) has shown that the Raman spectral intensity of CO<sub>2</sub> band in crystallographically oriented cordierite grains can be used to estimate the CO<sub>2</sub> contents. These previous studies suggested the importance of applying a correction on the effect of crystal orientation for the determination of intrinsic contents of CO<sub>2</sub> in randomly oriented cordierite crystals. The purpose of this study is to reveal the relationship between Raman spectral patterns and crystal orientation of cordierite, and to construct a new method for the determination of CO<sub>2</sub> content in cordierite using Raman spectroscopy.

For the identification of crystal orientation of cordierite, euhedral cordierite crystals, from the volcanic ash deposit in the Takiga swamp, Gunma Prefecture, Japan were used to prepare crystallographically oriented thin sections, and examined in detail using micro-Raman spectroscopy. In addition, to examine the effect of crystal orientation to the intensity of CO<sub>2</sub> for its determination, two cordierite samples were analyzed. One is cordierite crystal from a pelitic cordierite-bearing from gneisses in the Kerala Khondalite Belt (KKB), southern India, and the other is a standard cordierite with known CO<sub>2</sub> contents (SH). Since Raman spectral intensity also depends on polarization of the incident laser, Raman spectra were obtained by rotating the sample at an interval of 10°. The crystal orientation of cordierite was cross-checked by using 5-axis universal stage and conoscopic figures.

Raman spectral patterns obtained for (001), (100) and (010) crystallographic planes change cyclically with the polarization of incident laser. We selected six peaks of cordierite (1: 554 cm<sup>-1</sup>, 2: 575 cm<sup>-1</sup>, 3: 670 cm<sup>-1</sup>, 4: 970 cm<sup>-1</sup>, 5: 1010 cm<sup>-1</sup>, 6: 1180 cm<sup>-1</sup>) for a detailed analysis. The intensity of peak-5 and peak-6 changed systematically when compared with other peaks, and so these peaks were used for the identification of crystal orientation. The intensity of peak-3 did not change and we used it as a normalizing peak for instrumental intensity variations. The intensity ratio of peak-5/ peak-3 versus intensity ratio of peak-6/ peak-3 ( $I_5/I_3$  vs.  $I_6/I_3$ ) in (001), (100) and (010) plane showed a linear relation. The value of other oriented cordierite crystals and random ones fell within this range. Therefore, it is possible to identify the crystal orientation of cordierite using the relation of  $I_5/I_3$  vs.  $I_6/I_3$ . The cyclic patterns can be expressed mathematically using a combination of sine curves, where it is possible to determine the crystal orientation. Furthermore, the peak intensity of CO<sub>2</sub> for SH cordierite with known CO<sub>2</sub> contents also showed cyclic variations, similar to the periodicity of the peak-6 in the crystallographically oriented crystals. Accordingly, using the mathematical expression we could retrieve the maximum

peak intensity of CO<sub>2</sub> at 1383cm<sup>-1</sup> from a random crystal, which was then used for determining the CO<sub>2</sub> contents of unknown cordierite crystals.

#### References

Kaindl, R., Tropper, P. and Deibl, I (2006) A semi-quantitative technique for determination of CO<sub>2</sub> in cordierite by Raman spectroscopy in thin sections. *European Journal of Mineralogy*, 18, 331-335

キーワード：堇青石、ラマン分光法、結晶方位、CO<sub>2</sub>定量

Keywords: Cordierite, Raman spectroscopy, Crystal orientation, CO<sub>2</sub> determination

## 変成岩中の炭質物の見かけの格子面間隔d002とラマンR2パラメータの相関

Correlations between the apparent interlayer spacings d002 and the Raman R2 parameters of carbonaceous matters in metamorphic rocks

\*白石 彩華<sup>2</sup>、星野 健一<sup>1</sup>

\*Ayaka Shiraishi<sup>2</sup>, Kenichi Hoshino<sup>1</sup>

1.広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻、2.広島大学理学部地球惑星システム学科

1.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, 2.Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima Univ.

堆積岩中の炭質物の格子面間隔d002は、変成程度の指標としてこれまで多くの研究がなされてきた。Itaya (1981)は、三波川帯の汗見川に沿って変成度の上昇とともに見かけのd002値が減少することを指摘し、高見・西村(2000)は、広島県弥栄峡の玖珂層群中の炭質物の見かけのd002が、広島型花崗岩との接触境界に向けて減少すると報告している。また、千々和ほか(1993)も、山口県須佐地域の須佐層群中の炭質物の見かけのd002が、高山はんれい岩との接触境界に向けて減少すると述べている。一方で、Beyssac et al. (2002)は、炭質物のラマンスペクトルのR2パラメータを用いた地質温度計、 $T (^{\circ}\text{C}) = -445 R2 + 641$ 、を提唱し、上記汗見川沿いの三波川帯の変成温度解析を行った。

本研究では、上記3地域の変成岩中の炭質物のR2パラメータの測定を行い、上記の研究で報告された見かけのd002との比較を行った。その結果、R2パラメータは岩石ごとに標準偏差が大きいものの、その最頻値とd002は、 $R2 \leq 0.75$ かつ $d002 < 3.60$ の範囲で良い相関を示すことが明らかとなった (Fig. 1)。

この相関は単純な双曲線関数、 $(R2 - a) (d002 - b) = k$ 、で近似される。従って、これまで多く測定されてきた見かけのd002に対して、 $T (^{\circ}\text{C}) = -445 (k / (d002 - b) + a) + 641$ で示される温度スケールを当てはめることが出来る。上記の条件を満たす全ての地域のデータでは、R2の漸近値(a)とd002の漸近値(b)およびkの値は、それぞれ0.95, 3.26, -0.064である ( $R^2 = 0.94$ )。また、汗見川地域のみでは、それぞれ0.96, 3.28, -0.058 ( $R^2 = 0.94$ )、弥栄地域のみでは、それぞれ0.89, 3.27, -0.046 ( $R^2 = 0.97$ )となるが、須佐地域ではほとんどの炭質物が上記の条件を満たさないため、これらを求めることは出来ない。

Beyssac et al. (2002)の地質温度計の適応可能範囲は $R2 < 0.7$ であるため、上記の相関を地質温度計として使用するには、ほとんどがこの範囲内のデータの回帰から求めた汗見川地域のパラメータセットを用いた方が良い。

キーワード：炭質物、d002、ラマン R2

Keywords: carbonaceous matter, d002, Raman R2

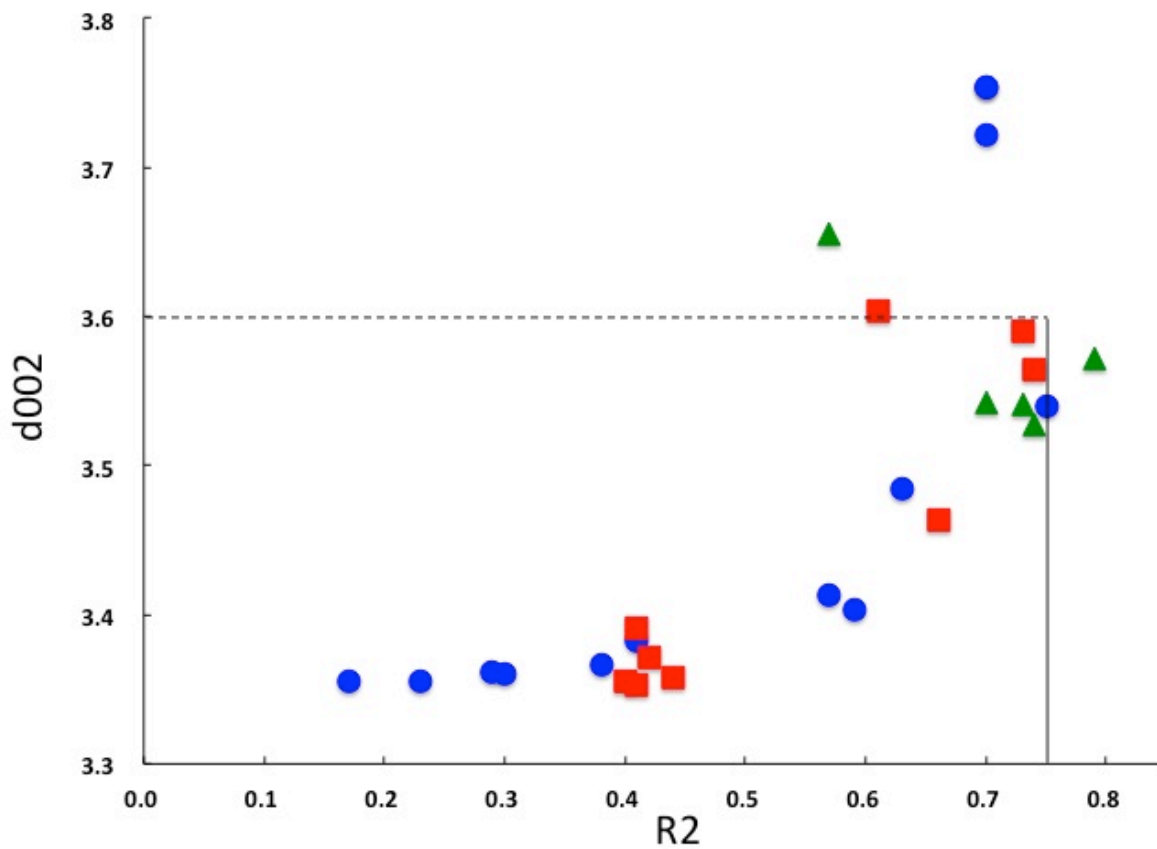


Fig. 1 Correlations between d002 and R2 of CMs in the Asemi (circle), Yasaka (square) and Susa (triangle) areas.

## 炭質物温度計を用いた紀伊半島毛原層とその周辺地域の変成温度見積もり

Preliminary results of the CM Raman geothermometry of the Kebara Formation and the proximal areas in the Kii Peninsula

\*吉田 健太<sup>1</sup>、青柳 直希<sup>2</sup>、加藤 亮吏<sup>2</sup>、平島 崇男<sup>2</sup>

\*Kenta Yoshida<sup>1</sup>, Naoki Aoyagi<sup>2</sup>, Ryoji Kato<sup>2</sup>, Takao Hirajima<sup>2</sup>

1.大阪市立大学大学院理学研究科、2.京都大学大学院理学研究科

1.Graduate School of Science, Osaka City University, 2.Graduate School of Science, Kyoto University

The Outer Zone of Southwest Japan in the Kii Peninsula is composed of the Sanbagawa metamorphic belt, the Mikabu belt, the Chichibu belt, the Kurosegawa belt, and the Shimanto belt from the north to the south (Kurimoto, 1986). In the Shimizu-Misato area of the Wakayama prefecture, components of above-mentioned five belts are exposed and the Mikabu belt disappears in the eastern part, where the Kebara Formation is exposed between the Sanbagawa metamorphic belt and the Chichibu belt. One of petrologic characteristics of the Kebara Formation is a common occurrence of lawsonite in both meta-mafic rocks and metapelites (Hada, 1967; Kurimoto, 1986; Tomiyoshi & Takasu, 2009), although surrounding geological units are free from lawsonite. Therefore, the attribution of the Kebara Formation is a lasting question for the researchers of the Kii Peninsula. Since thermodynamic approach for the low-grade metamorphic rocks has some difficulties, we applied carbonaceous material (CM-) Raman geothermometer for the metapelitic rocks of the Shimizu-Misato area including the Kebara Formation, Mikabu belt, Sanbagawa belt, Chichibu belt, and Shimanto belt, following the procedure of Kouketsu et al. (2014), which is developed for the low-grade metamorphic rocks covering 165-400 deg. C. We obtained a mean temperature of 318 deg. C for the Kebara Formation, which is comparable with that of the neighboring unit of the Mikabu belt (320 deg. C). On the other hand, the Sanbagawa belt of the Shimizu-Misato area shows the average temperature of 291 deg. C, which is slightly but evidently lower value within an apparent distance of a few kilometers. Temperatures obtained from the Chichibu belt of the relevant area yields about 283 deg. C, and the Shimanto area does the lowest of 212 deg. C. The estimated temperature of the Kebara Formation is equivalent to that of the Sanbagawa belt of the Ise area, eastern Kii Peninsula (316 +/- 5 deg. C: Ueno, 2001), which shows a gap with that of the Sanbagawa metamorphic belt of the Shimizu-Misato area. This temperature gap suggests that the Kebara Formation and the Sanbagawa metamorphic belt of the Shimizu-Misato area are not a coherent unit but in tectonic contact with each other. This fact is also suggested by the geochronological data: K-Ar/Ar-Ar age data of the Kebara Formation have a range of 103-89 Ma (Isozaki et al., 1992; Kurimoto, 1993; de Jong et al., 2000) while those in the Sanbagawa metamorphic belt of the Shimizu-Misato area mostly range 85-72 Ma with a few exceptions (Kurimoto, 1993; Kurimoto, 1995; Kurimoto, 2013). Compared to the Sanbagawa metamorphic belt in the study area, the metamorphic temperature and geochronological data of the Kebara Formation is similar to the Mikabu belt. The similarity in the CM-Raman geothermometry in addition to the previously investigated geochronological data possibly suggest that the Kebara Formation is correlated with the Mikabu belt.

キーワード：炭質物温度計、毛原層、三波川変成帯、御荷鉾帯

Keywords: carbonaceous material Raman geothermometer, the Kebara Formation, the Sanbagawa belt, the Mikabu belt

Pressure-temperature-time dependence of structural evolution of CM to graphite:  
 Implication for fast graphitization in metamorphic terrain  
 Pressure-temperature-time dependence of structural evolution of CM to graphite:  
 Implication for fast graphitization in metamorphic terrain

\*中村 佳博<sup>1</sup>、芳野 極<sup>2</sup>、Satish-Kumar Madhusoodhan<sup>3</sup>

\*Yoshihiro Nakamura<sup>1</sup>, Takashi Yoshino<sup>2</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>3</sup>

1.新潟大学自然科学研究科、2.岡山大学地球物質科学研究センター、3.新潟大学理学部地質科学科

1.Graduate School of Science and Technology, Niigata University, 2.Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University, 3.Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University

The structural evolution of carbonaceous material (CM) to graphite is one of the most important thermal indicators for geological regimes of very low to medium metamorphic temperature. The process *sensu stricto* depended not only on peak metamorphism but also lithostatic pressure, tectonic deformation and catalytic effects. Some studies argued that the pressure dependence during graphitization was one of the most important factor to recrystallize from CM to graphite (e.g. Beyssac et al. 2003). However, the natural and experimental studies regarding the pressure dependence on graphitization are very limited.

We report here new experimental data on the structural evolution of CM to graphite at various pressures of 0.5 to 8 GPa at 1200 degree C for 1 hour. Natural CMs extracted from sedimentary rocks in the Shimanto accretionary complex and the Hidaka metamorphic belt transformed its morphology and crystallinity with increasing pressure. Both the starting materials were converted to a graphitic structure above 2 GPa, suggesting either the termination of crystal growth or only sluggish growth. Based on the results of pressure dependence, we compared the relation between the effective activation energies and experimental pressures by combining our results with previous studies. It was found that the effective activation energy empirically decreases with increasing pressure. The pressure dependence was given by:

$$Ea = -71.66\ln(P) + 789 \quad (R^2 = 0.98)$$

Thus we are able to express the effective activation energy  $Ea$  at any pressure conditions using the above regression curve. Combining the previous experimental data on thermal dependence of graphitization (Nakamura et al. 2015), the structural evolution of CM can be expressed by three different factors of pressure  $P$ , metamorphic temperature  $T$  and duration  $t$ :

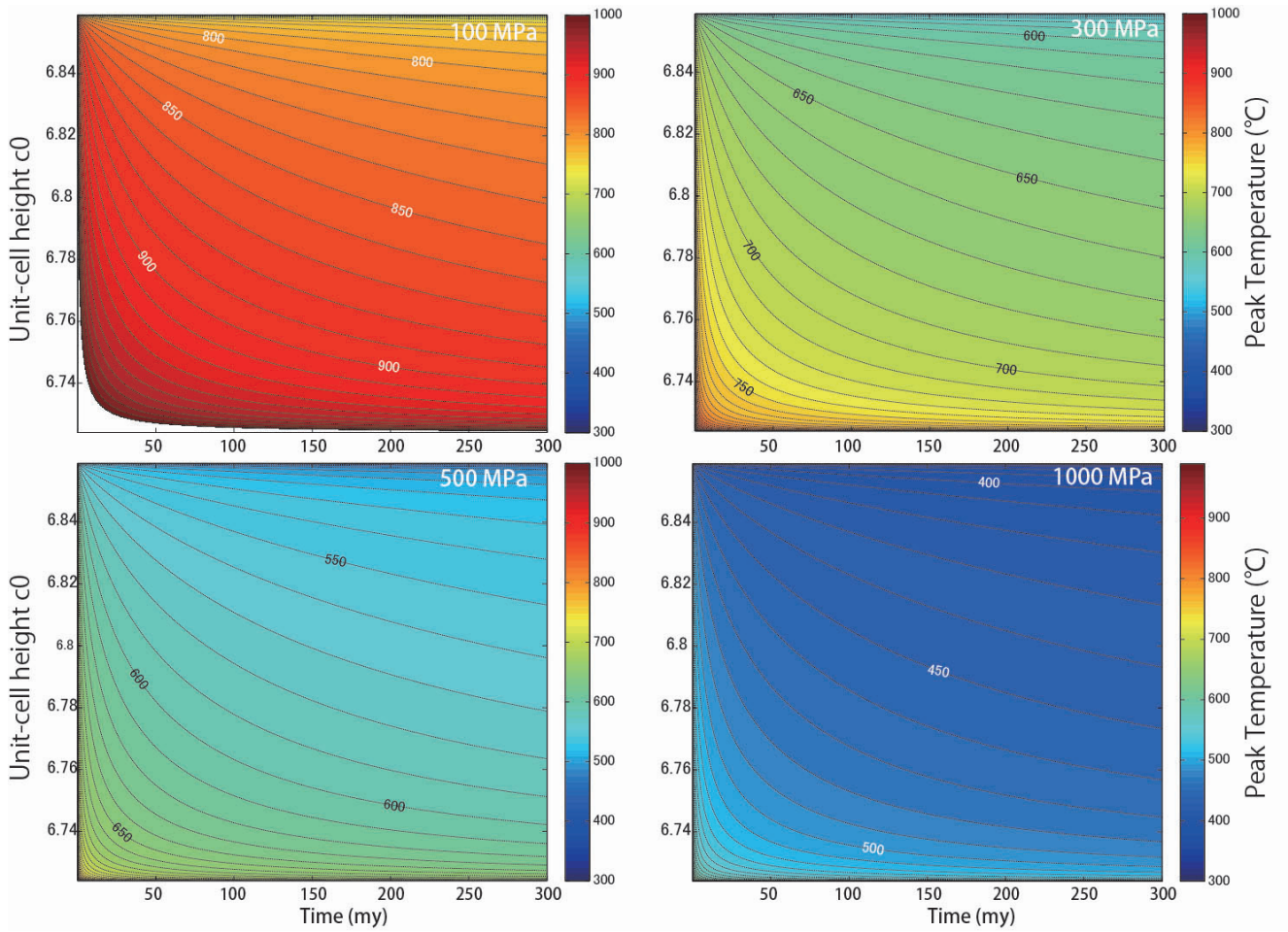
$$f(P, T, t) = C_{\min} + (C_{\max} - C_{\min}) / \{1 + [((A \exp(-71.66\ln(P) + 789) / RT) / t)^h]\},$$

where  $C_{\min}$  and  $C_{\max}$  are respectively the maximum and minimum values of each parameter,  $A$  the intercept of the Arrhenius plot,  $R$  the gas constant, and  $h$  is the reaction rate of the sigmoid function (named as the "Hill coefficient"). Based on the equation combining the thermal and pressure dependences, we attempted to extrapolate to the low-temperature condition (300-1000 degree C) at the pressures of 0.1 to 1 GPa (Fig.1). Detailed results between natural and experimental data will be discussed in the presentation.

Reference: Beyssac et al. (2003) EJM. Nakamura et al. (2015) AGU fall meeting abstract.

キーワード：グラファイト、炭質物、反応速度論、高温高圧実験

Keywords: Graphite, Carbonaceous material, Kinetic model, HTHP experiment



## 紀伊半島北西部毛原層の苦鉄質変成岩から見出されたバロワ閃石とその意義

Petrological study of barroisite-bearing metabasite from the Kebara formation in NW Kii Peninsula and its significance

\*加藤 亮吏<sup>1</sup>、平島 崇男<sup>1</sup>

\*Ryoji Kato<sup>1</sup>, Takao Hirajima<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

The chemical composition of minerals is generally controlled by several factors such as *P-T* conditions and bulk composition. Barroisite (Brs) is an intermediate amphibole between glaucophane and tschermakite and its ideal chemical formula is  $(\text{NaCa})\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{Si}_7\text{Al})\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ . In the Sambagawa belt of central Shikoku, Brs is reported from the higher grade zones, such as the Grt and Ab-Bt zones, and eclogite units. On the other hand, sodic-amphibole, winchite (Wnc), and actinolite (Act) are common in the lower grade zones such as the Chl to Grt zones and the Mikabu belt. In this study, we report the first finding of Brs in metabasite from the Kebara Formation in the NW Kii Peninsula, and discuss its significance. The Kebara Formation is an E-W trending geological unit, 5x1 km, exposed between the Sambagawa and Chichibu belts (Kurimoto, 1986). The Kebara Formation is mainly composed of metapelite with minor amount of lenses or layers of metabasite and siliceous schist (Kurimoto, 1986). Mineral assemblages reported from the Kebara Formation are quartz + albite + chlorite + phengite + lawsonite + calcite in metapelite and lawsonite + pumpellyite + actinolite or sodic-amphibole + pumpellyite + sodic pyroxene + epidote in metabasite (Kurimoto, 1986; Tomiyoshi & Takasu, 2005, 2009). These mineral assemblages are stable from a high-*P* part of the pumpellyite-actinolite (PA) facies to a low-*P* part of the epidote-blueschist facies. Although the Kebara Formation is regarded as the Mikabu belt (Kurimoto et al., 1998; Makimoto et al., 2004), its main lithology differs from that of other areas in the Mikabu belt. Brs-bearing metabasite was collected from a continuous, 30m-long outcrop along the Takino-gawa in the SW part of the Kebara Formation. The outcrop exhibits a change from metabasite in the north to metapelite in the south. The main foliation shows ENE-WSW strike and steeply dip to the south. Brs-bearing metabasite, more than 70 cm in thickness, occurs at the transition between metabasite- and metapelite-dominated parts, and its main foliation is consistent with that of the surrounding rocks. Brs-bearing metabasite consists of mm-thick blue-green epidote-rich layers alternating with blue amphibole-rich layers. The blue-green layers are mainly composed of epidote, amphibole, chlorite, white mica, albite, and quartz with minor amount of titanite and apatite. The blue layers contain sodic pyroxene in addition to the above mentioned minerals. Many amphibole grains show a distinct zoning pattern characterized by a Brs core, a sodic amphibole mantle, and a Wnc rim with distinct compositional gap. In some amphibole grains, sodic amphibole and Wnc repeatedly appear at the margin of Brs. Various zoning types of amphibole were reported in the Sambagawa belt: Brs-hornblende(-Wnc)-Act from the Grt and Ab-Bt zones in the Asemi-gawa and Dozan-gawa areas, Brs-sodic amphibole-Wnc/Act from the Ab-Bt zone in the Saruta-gawa area (Otsuki & Banno, 1990; Y. Banno, 2000; Okamoto & Toriumi, 2004). Most of these zoning patterns are attributed to *P-T* changes during the exhumation stage, *i.e.*, a decompression with a significant cooling path in the Saruta-gawa area (Y. Banno, 2000) and an isothermal decompression path at an early stage of the exhumation in the Asemi-gawa and Dozan-gawa areas (Okamoto & Toriumi, 2004). The amphibole zoning pattern identified in this study is similar to that of the Saruta-gawa area except for the lack of hematite. This fact suggests that the study samples experienced the epidote-amphibolite facies prior to the PA facies. Multiple recrystallization can be explained by so-called Yo-Yo subduction



as reported in the Italian Western Alps (*e.g.* Rubatto et al., 2011).

キーワード：バロワ閃石、御荷鉾帯、毛原層、紀伊半島、苦鉄質変成岩、ヨーヨーサブダクション

Keywords: barroisite, the Mikabu belt, the Kebara formation, Kii Peninsula, metabasite, Yo-Yo subduction

## 北海道旭川市周辺の神居古潭変成岩のテクトニクス你再検討：ジルコンU-Pb年代と流体移動による接触変成作用

Appraisal of the tectonics of the Kamuikotan metamorphic rocks around the Asahikawa City, central Hokkaido: Zircon U-Pb ages and contact metamorphism by fluid migration

\*辛 沅知<sup>1</sup>、竹下 徹<sup>1</sup>、岡本 あゆみ<sup>1</sup>

\*Wonji Shin<sup>1</sup>, Toru Takeshita<sup>1</sup>, Ayumi S. Okamoto<sup>1</sup>

1.北海道大学大学院理学院

1.Graduate School of Science, Hokkaido University

北海道中央部に分布する神居古潭変成岩は中生代白亜紀の低温高圧型の変成岩であり、その北方延長はロシアのサハリン島に分布するとされている。Sakakibara and Ota (1994) は、その岩相、変成度、変成年代に基づいて、神居古潭変成岩を6つのユニットに区分し、それらを変成鉱物組合せにより3つの変成圧力タイプに分類した。各タイプごとの地温勾配と白雲母のK-Ar年代および<sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar年代は、高圧1 (HP1) の場合、地温勾配G = ~10°C/km, 108-145 Ma, 高圧2 (HP2) の場合、G = ~13°C/km, 91-107 Ma, 高圧中間群 (HI) の場合、G = ~20°C/km, 50-84 Maである。近年報告されたジルコンU-Pb年代 (Okamoto et al., 2014) によると、石狩川沿いのパンケホロナイ (Pk) ユニット (115-120 Ma) の方が、春志内 (Hr) ユニット (100 Ma) よりわずかに古い碎屑性ジルコン年代を示していることが明らかになった。一方、石狩川の支流沿いのPkユニットから80 MaのジルコンU-Pb年代も報告されている (Nagata et al., 2015)。しかしながら、旭川市西方の神居古潭峡谷周辺のユニット区分・変成圧力タイプの分類にはいくつかの疑問が残されている。まず、各ユニットは本来スラストシートとして分布しているが、それらの年代分布は一定方向性を示さず、乱雑な分布を示している。次に、HIタイプに分類されるPkユニットのK-Ar年代とHP2タイプに属するHrユニットの年代が70-85 Maで重なっており (Okamoto et al., 2015)、碎屑性ジルコン年代についても圧力タイプの分類とは合わない。三つ目に、隣接した試料の白雲母K-Ar年代が大きな年代差を示し、最大で数千万年の幅を持っている。以上の疑問と先行研究をまとめると、Sakakibara and Ota (1994) により定義されたPkユニットは、少なくともHrユニットに似た古いユニットとより若いユニットの2つのユニットに分けられる可能性がある。

本研究では、神居古潭変成岩のPkユニットが分布する石狩川、石狩川の支流、オロエン川およびパンケホロナイ川において、岩石学的、構造地質学的観察を行い、泥質変成岩や苦鉄質変成岩の変成鉱物組合せについて検討した。石狩川沿いの古いユニットは泥質および苦鉄質片岩、石灰質片岩、チャート起源の石英片岩から構成されていることに対し、南側の若いユニットは泥質及び苦鉄質片岩で構成されている。特徴的な変成鉱物としてローソン石が古いユニットでは産するが、若いユニットでは存在しない。これらの事実は、以前定義されたPkユニットは古いユニットと若いユニットに分けられるという考えを支持している。若いユニットの中でも、石狩川の支流沿いの苦鉄質岩中にはパンペリー石が産する一方、オロエン川沿いの苦鉄質岩中にはエピソードが産する。これは、後者の地域の変成温度が前者の地域より高いことを示す。両地域の白雲母K-Ar年代 (Iwasaki et al., 1995; Ota, 1999) は、後者の方が前者よりも若い傾向を示し、再結晶白雲母が後者の地域で優勢であると考えると、先述の変成温度の違いと矛盾しない。これらの温度と年代の空間的不均質は、流体の移動が起源であることを強く示唆し、流体に起因する接触変成作用の不均質を反映している可能性がある。

キーワード：神居古潭変成岩、テクトニクス、流体移動、ジルコンU-Pb年代、白雲母K-Ar年代、変成鉱物組合せ

Keywords: Kamuikotan metamorphic rocks, tectonics, fluid migration, zircon U-Pb ages, white mica K-Ar ages, metamorphic mineral assemblages

## Metamorphic evolution of eclogites in the Alag Khadny metamorphic complex, Lake Zone, SW Mongolia

Otgonkhuu Javkhlan<sup>1</sup>, \*Md Fazle Kabir<sup>2</sup>, Akira Takasu<sup>2</sup>, Dash Bat-Ulzii<sup>1</sup>

1.Mongolian University of Science and Technology, Mongolia, 2.Department of Geoscience, Shimane University, Japan

The eclogite-bearing Alag Khadny metamorphic complex in the Lake Zone, SW Mongolia located in the central part of the Central Asian Orogenic Belt, consist mainly of orthogneisses which interleaving with marbles including lenses of garnet-chloritoid schists of Maykhan Tsakhir Formation. Eclogites occur as lenses or boudins in orthogneisses and marbles, and their peak metamorphic conditions have been estimated as 590-610°C and 20-22.5 kbar (Stipska *et al.*, 2010). Garnet-chloritoid schists occur as lenses or layers within marbles, which lie in contact with eclogite bodies showing distinct lower *P-T* conditions than eclogite (Javkhlan *et al.*, 2013).

Glaucophane-bearing and amphibolitized eclogite consists mainly of garnet, clinopyroxene, sodic, sodic-calcic and calcic amphiboles (Gln, Brs, Fprg, Ts, Fts, Fe/Mg-Hbl, Act) with subordinate amounts of epidote, phengite (Si 6.51-7.11 pfu), plagioclase, K-feldspar, chlorite, rutile, titanite and quartz. Garnets display a prograde zoning (Sps<sub>9-1</sub>, Prp<sub>5-19</sub>, Grs<sub>27-31-20</sub>), and the core of the garnets contains polyphase and discrete inclusions of amphibole (Trm, Prg, Ts) and plagioclase (An<sub><17</sub>), and also contains aegirine-augite/omphacite (Jd<sub>14-21</sub>), epidote, K-feldspar, rutile and titanite. The rim of the garnet contains omphacite (Jd<sub>32-41</sub>), barroisite, phengite, epidote and rutile. Omphacite (Jd<sub>27-46</sub>) in the matrix are zoned, increasing jadeite content from core to rim (Jd<sub>27-41</sub>). Omphacites are partly replaced by symplectite of diopside/aegirine-augite/omphacite (Jd<sub><25</sub>), Mg-hornblende and plagioclase (An<sub><13</sub>). Amphiboles in the matrix are zoned with glaucophane core through barroisite mantle to Mg-hornblende rim, and the others are actinolite/barroisite core and hornblende to tschermakite rim coexisting with large plagioclase (An<sub><18</sub>), which contains fragments of barroisitic amphibole and garnet.

Alag Khadny eclogites experienced multiple metamorphic events, i.e. precursor metamorphic event of relatively high-*T/P* metamorphism of amphibolite facies prior to eclogite metamorphism represented by pargasite/tschermakite and plagioclase (An<sub><17</sub>) inclusions in the core of the garnets. The minerals in the matrix are representative of eclogitic metamorphism and the prograde path pass through the epidote-blueschist facies to the eclogite facies. *P-T* pseudosections were calculated in the NCKFMASHO model system and compositional isopleths of garnet suggest the peak metamorphic conditions of the eclogite as 590-620°C and 21-22 kbar and retrograded into 510-540°C and 9-11 kbar in the epidote-amphibolite facies. Zoned amphiboles in the matrix (Act/Brs core Hbl to Ts rim) and associated large plagioclases suggest another prograde metamorphism of medium-*P* conditions. Peak eclogitic metamorphic conditions are similar to those of Stipska *et al.* (2010), and they correspond to subduction type metamorphic conditions with lower geothermal gradient (8°C/km). Subsequent medium-*P* metamorphism together with garnet-chloritoid schists (560-590°C/10-11 kbar; Javkhlan *et al.*, 2013) took place in the higher geothermal gradient (19-20°C/km), and this metamorphic event is correspond to continental collision type metamorphism.

<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar muscovite ages in the eclogites (543±3.9 Ma) within marbles and garnet-chloritoid schists (537±2.7 Ma) were determined (Stipska *et al.*, 2010). K-Ar ages for eclogites (c. 600 Ma) within orthogneisses have been obtained by Javkhlan *et al.* (2014). These ages are interpreted as the exhumation ages for the eclogites and the garnet-chloritoid schists.

Keywords: eclogite, pseudosection modelling, garnet-chloritoid schist, Maykhan Tsakhir Formation, Lake Zone, SW Mongolia

## Formation of secondary olivine after orthopyroxene during serpentinization: Evidence from the Hantaishir ophiolite, western Mongolia

\*OTGONBAYAR DANDAR<sup>1</sup>, Masaaki Uno<sup>1</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

1. Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Serpentinization plays a crucial role on global water circulation, and causes significant decrease in density and seismic velocity of mantle peridotite. Typically, it advances along slow-spreading ridges, in bending faults during the onset of subduction zone, and wedge mantle in the subduction zone. Serpentine minerals brought into deep part of subducting zone, are broken down to release H<sub>2</sub>O, which is thought to associate with intermediate-depth earthquakes and arc magmatism. Secondary olivine, which is usually interpreted to be formed by dehydration of serpentine, has been reported in several serpentinites from subduction zone. Recently, Plümer et al., (2012) found that a novel texture of the secondary olivine which formed after orthopyroxene via bastite formation. Although the hydration and dehydration processes of ultramafic rock are important on the H<sub>2</sub>O budget within the subduction zone, the detail mechanism of secondary olivine formation is still poorly understood. In this study, we investigate serpentinization processes of ultramafic rocks from the Hantaishir ophiolite in Mongolia, and propose a new mechanism for secondary olivine formation after orthopyroxenes.

The Hantaishir ophiolite is located within the Central Asian Orogenic Belt (CAOB). It is located at the north of the Main Mongolian Lineament in the western Mongolia. The ophiolite composed of ultramafic rocks, pyroxenites and gabbro, sheeted dikes, pillow lavas, and pelagic sediments is strongly sheared and thrust, but well-preserved ophiolitic sequence is partly preserved. It contains two ultramafic complexes, the Taishir and the Naran massifs. Geochemical study of igneous rocks indicates suprasubduction-zone origin (Matsumoto and Tomurtogoo, 2003).

Eighteen ultramafic rock samples were analyzed in detail by using optical microscope, EPMA, and raman spectroscopy. Most of the ultramafic bodies are intensively deformed, and completely serpentinized. Three samples in Naran massif preserve olivine as well as serpentines, spinel, magnetite, and brucite. Serpentine in these samples shows three occurrences; First one is fine-grained lizardite as a mixture with brucite in veins of primary olivine, Second one is chrysotile veins, cutting the all textures, and Third one is antigorite, which dominantly exists in matrix. We found the primary and secondary olivine. Primary and secondary olivine show contrasting Mg#, the former (0.92-0.93) and the latter (0.94-0.98). A plot Mg# of primary olivine vs Cr# (0.70-0.82) of spinel suggests that the ophiolite was formed at fore-arc setting within the subduction zone. It is noted that some secondary olivine exists as fine-grained aggregates. This aggregate looks replace large grain aligned fractures filled with antigorite which shows relatively high Al- and Cr-content. These observations suggest that secondary olivine aggregate was originated from orthopyroxene. Based on the similar textures, Plümer et al., (2012) suggested that bastite is formed after orthopyroxene and then a dehydration reaction occurs to the secondary olivine. In contrast, our sample does not the evidence for formation of bastite, and the secondary olivine and antigorite look formed at the similar stage. Therefore, we propose that the secondary olivine is directly formed by silica-releasing reaction after orthopyroxene, and the releasing silica is reacted with primary olivine to produce antigorite. In this mechanism, the secondary olivine could be formed during the hydration stage within subduction zone.

Keywords: microtextural-chemical evolution, Mg-rich secondary olivine



房総半島嶺岡帯の蛇紋岩化したかんらん岩に残された背弧的特徴とその空間分布  
Backarc-like characteristics and their spatial distributions within serpentized  
peridotites in the Mineoka belt, Boso peninsula

\*道林 克禎<sup>1</sup>、片貝 寿幸<sup>2</sup>

\*Katsuyoshi Michibayashi<sup>1</sup>, Toshiyuki Katakai<sup>2</sup>

1.静岡大学学術院理学領域、2.静岡大学理学部地球科学科

1.Institute of Geosciences, Shizuoka University, 2.Department of Geosciences, Faculty of Science,  
Shizuoka University

We studied chemical compositions and crystal-preferred orientations of serpentized peridotites in Mineoka belt, Boso peninsula, Honshu island, Japan. The chemical compositions of both olivine and spinel are in the range of the olivine-spinel mantle array of Arai (1994, Chemical Geology). Spinel Cr# can be divided into two groups: high Cr# (0.5-0.6) and low Cr# (0.3-0.4). Moreover, we found that olivine crystal-fabrics in these peridotites have two types along with the two chemical compositions: A type with the low Cr# to the west and D type with the high Cr# to the east of the Mineoka belt. The chemical compositions are compatible with those of Parece Vela Rift (Ohara et al., 2003, G3). We suggest that the peridotites in the Mineoka belt could be derived from backarc environment and they have not so dismembered at present, since both structural and petrological characteristics are correlated to their spatial distribution in the Mineoka belt.

キーワード：嶺岡帯、かんらん岩、鉱物化学組成、カンラン石の結晶方位

Keywords: Mineoka belt, peridotite, chemical composition of mineral, olivine crystallographic orientation

## 変成岩における鉱物の金平糖様成長と粒界流体の流れ検出

Kompeito-like growth of metamorphic minerals and microprobes of metamorphic fluid flow

\*鳥海 光弘<sup>1</sup>\*mitsuhiro toriumi<sup>1</sup>

## 1. 海洋研究開発機構

1. Japan agency of marine science and technology

Konpeito-like growth of metamorphic minerals and microprobes of metamorphic fluid flow

Mitsuhiro Toriumi ( OELE, JAMSTEC)

Grain growth of the metamorphic process is basically governed by precipitation from grain boundary thin fluid film and dissolution of preexisting minerals. Morphology of metamorphic minerals appears as a variety between euhedral and anhedral shapes, although it sometimes shows the irregular shape likely to amoeboid but not to dendrite. Amoeboid grains of garnet and albite are very common in the regional metamorphic rocks and are considered as unstable growth by coupling of growth from thin film of boundary solution and fluid flow along the thin film.

The similar grain growth from thin film of flowing solution reveals the Kompeito of sucrose and hails which show the spherical ball having many rounded horns (spikes). Such feature is considered to be derived from growth instability from flowing boundary fluid film (1).

In this paper, I will talk about the occurrence of Kompeito - like grains of garnet, albite, and quartz in the regional metamorphic rocks and discuss the robustness of the spacing of rounded horns on the cross section. He also suggests the possibility of microprobes of metamorphic grain boundary fluid flow inferred from the instability of Kompeito -like growth of these metamorphic minerals.

(1) Sakai I., and Y. Hayakawa, 2006, JPSJ, 75, 10, 104802

キーワード：金平糖様成長、変成鉱物、粒界流体

Keywords: Kompeito-like growth, metamorphic minerals, grain boundary fluid



## 鉱物平衡モデリング法を用いた関東山地三波川結晶片岩類の温度圧力経路の推定

## Phase equilibrium modeling and P-T evolution of high-P/T Sambagawa Metamorphic rocks in Kanto Mountains, Central Japan

\*栗原 佑典<sup>1</sup>、角替 敏昭<sup>2</sup>\*Yusuke Kuribara<sup>1</sup>, Toshiaki Tsunogae<sup>2</sup>

1.筑波大学大学院生命環境科学研究科、2.筑波大学生命環境系

1.Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba , 2.Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

三波川変成帯は関東山地から中部、紀伊、四国を経て九州東部に至る、総延長約800kmの広域変成帯である。西南日本外帯の最北縁に位置しており、日本の代表的な低温高圧型変成帯である。三波川結晶片岩類は140-130Ma頃に海溝で付加体として形成され、沈み込み帯深部に引きずり込まれ、120-110Ma頃にピーク変成作用を受け、その後隆起したと考えられている (Isozaki and Itaya, 1990)。三波川帯ではこれまでに変成年代、地質構造、変成作用など様々な研究が行われてきたが、その研究の中心は関東山地より変成度が高いと考えられている四国三波川帯である。一方、変成度の低いとされる関東山地三波川帯では変成年代や地質構造に関する研究は詳細に行われているが、変成温度圧力条件についての研究は極めて少なく、変成帯の主体をなす泥質片岩より変成条件を推定した例はほとんどない。本研究では関東山地三波川帯の泥質片岩を用い、鉱物平衡モデリング法によりピーク変成温度圧力条件を推定する。

関東山地三波川帯の泥質片岩は黒色-暗灰色の岩石で、粒径は極細粒-細粒であり、縞状構造とそれに平行な片理がよく発達している。温度圧力条件の推定に使用したサンプルには石英、斜長石、フェンジャイト、緑泥石、黒雲母、緑簾石、ざくろ石、鉄-チタン酸化物が含まれていた。斜長石は点紋と呼ばれる斑状変晶を形成しており、フェンジャイトは主要造岩鉱物の一つで薄層を形成している。ざくろ石は極細粒であり(30 $\mu$ m以下)、スペサルティン成分に富んでおり、スペサルティン成分がリムからコアに向かって減少する通常の累帯構造が見られた。黒雲母は変成後の熱水変質によってカリウムが溶脱し、緑泥石化していた。本研究では泥質片岩の温度圧力経路の推定にTHERIAK-DOMINO ver.16.10.2012を用い、相計算にはNa<sub>2</sub>O-CaO-K<sub>2</sub>O-FeO-MgO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O-TiO<sub>2</sub> (NCKFMASHT系)を採用した。ピーク変成作用時の鉱物組み合わせはPl+Ilm+Grt+Phg+Bt+Zo+Qtz+H<sub>2</sub>Oであり、その安定領域は580-630 $^{\circ}$ C、9-13 kbarであると推定された。さらに緑泥石の存在から後退変成作用時の鉱物組み合わせはPl+Ilm+Chl+Phg+Bt+Zo+Qtz+H<sub>2</sub>Oであり、その安定領域は360-440 $^{\circ}$ C、1.4-5.5 kbarであると推定された。今回推定したピーク変成作用時の温度圧力条件は同地域の鉄-マンガンに富むノジュールから推定したHirajima (1989)の結果より100 $^{\circ}$ C程度高温であった。また、今回の結果は四国三波川帯の灰曹長石-黒雲母帯に相当する温度圧力条件であった。以上のことから、関東山地三波川帯は四国三波川帯と同程度の変成作用を受けた可能性があり、三波川帯の東西方向の変成度の差はなく、三波川帯全体が同程度の深さまで沈み込んでいたことが示唆される。

キーワード：三波川変成帯、鉱物平衡モデリング法、泥質片岩、ピーク変成条件、関東山地

Keywords: Sambagawa metamorphic belt, Phase Equilibria Modeling, Pelitic schist, Peak P-T conditions, Kanto mountains

## 関東山地，寄居－小川地域の跡倉ナツプ

### Geology of the Atogura Nappe of the Yorii-Ogawa district in the northeastern Kanto Mountains

\*小野 晃

\*Akira Ono

関東山地北東縁部の埼玉県寄居－小川地域には三波川変成岩類，跡倉ナツプおよび中新統が分布している

[1, 2]. このポスターではこの地域の跡倉ナツプについての最新の地質図を提示し解説する.

1) 跡倉ナツプは周辺の古期岩体と高角断層で接しているのが普通である. しかし, 跡倉スラストが添付図の地点 a ~ e に推定あるいは確認されている. 下部中新統は各地で跡倉ナツプを不整合に被っている. 中新統の下層部には領家ナツプに由来する礫が一般的に認められる. 領家ナツプとは, おもに領家帯とその周辺の地質体からなり, 跡倉ナツプの構造的上位に想定されるナツプである.

2) 跡倉ナツプには東西方向に伸長した古第三紀初期の寄居層, ペルム紀の金勝山石英閃緑岩, 白亜紀の跡倉層, 白亜紀後期~古第三紀初期の寄居酸性岩類(火砕岩や花崗斑岩)などの大岩体が分布している. 領家帯起源の地質体は存在しない. 大岩体の境界部には小岩塊がしばしば介在し, 小岩塊は2 km以上に渡って列をなしている場合もある. 岩体や岩塊は高角断層で接し, 断層近傍には変質作用や破碎作用がしばしば認められる. プレーナイトは生成していない. 小岩塊の面構造は高角度に傾斜している.

3) 凡例のチャート, 泥岩, 砂岩の堆積年代は不明である. 岩相はジュラ紀付加複合体に類似している.

4) 凡例の下仁田変成岩はペルム紀ホルンフェルスと呼称されてきた地質体である. すべてがペルム紀のホルンフェルスとは断定できないので, 一般的名称に改称した. この種の岩石が最初に報告されたのは, 下仁田地域からである. 下仁田変成岩の分布は金勝山石英閃緑岩の内部と近傍に限定されている.

5) 凡例の肥後－阿武隈花崗岩と変成岩は, 中~小規模の岩塊として跡倉ナツプの各地に点在している. 変成岩について, 普通角閃石や白雲母のK-Ar年代は95-113Maである. 角閃岩相の変成岩で, 変成度はフズリナ化石が残存している低変成度からシリマナイトとカリ長石が共存する高変成度までいろいろである. 原岩の特徴は, 大部分の岩塊に石灰質や苦鉄質の変成岩が認められることである.

6) 添付の地質図には跡倉ナツプ南縁部に酸性凝灰岩と肥後－阿武隈花崗岩と変成岩の岩塊が描かれている. これらは独立岩体ではなく, 木呂子緑色岩メランジユの構造岩塊である[3].

7) 木呂子緑色岩メランジユは木呂子変成岩, 蛇紋岩, 構造岩塊から構成されている. 構造岩塊について, K-Ar白雲母年代が109Maの変成岩岩塊[3]が存在する. 木呂子変成岩について, 57.4MaのK-Ar全岩年代が得られている[3, 4]. この年代57.4Maは, 関東山地の三波川変成岩の最も若い年代に相当する. 花崗岩を伴わない高圧型変成岩である木呂子変成岩は, 三波川変成岩の近傍に分布していたと推定される.

8) 木呂子変成岩と構造岩塊との関係について, 2地点での観察によると, 構造岩塊の角閃石岩や角閃岩とマトリックスのアクチノ閃石岩との境界は整合的であり, そこに顕著な変形作用や変質作用を確認できない. しかも, 構造岩塊が木呂子変成作用を受けた証拠は存在しない. 構造岩塊の一部にはプレーナイト脈や石英－曹長石脈が生成している. それらはメランジユ構造の形成時期に生成した可能性が高い.

9) 木呂子緑色岩メランジユの岩塊として, 変成トータル岩が居用に, 塊状の変質したトータル岩が木部の栃本南方に見出されている. これらはカリ長石が非常に少なく, 斜長花崗岩と推測される.

10) 木呂子変成岩と寄居酸性岩類は相当離れた地域で形成された古第三紀初期頃の地質体である. これらが跡倉ナツプの内部に近接して分布している事実からみて, 大規模なナツプテクトニクスが跡倉ナツプの形成以前に起きたことが想定される. その後, 小規模な跡倉ナツプおよび領家ナツプが形成された.

11) 跡倉ナツプのルートゾーンは飛騨帯の方という最近の学説について, 白亜紀後期以降の飛騨帯, 飛騨外縁帯, 美濃帯は一体化しており, その付近にルートゾーンを想定することは, 物理的に不可能である.

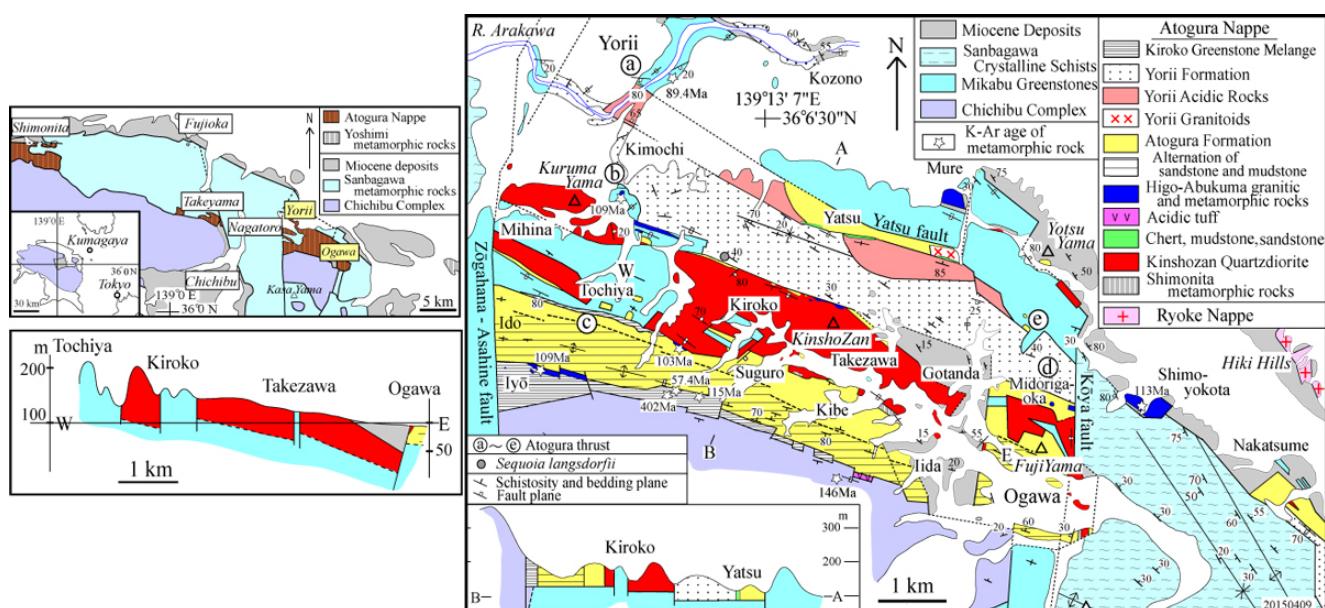
[1] 小野, 2008, 日本地球惑星科学連合 2008年大会予稿集, G119-P002.

[2] 小野, 2014, 日本地球惑星科学連合2014年大会予稿集, SGL43-P01.

[3] 小野, 2015, 日本地球惑星科学連合2015年大会予稿集, SGL40-P12.

[4] 小野, 2013, 日本地球惑星科学連合2013年大会予稿集, SMP43-P16.

キーワード：跡倉ナップ、緑色岩メランジュ、構造岩塊、K-Ar年代、ナップテクトニクス  
 Keywords: Atogura Nappe, Greenstone melange, Tectonic block, K-Ar dating, Nappe tectonics



## カレドニア造山帯トロムセ・ナップに産する正片麻岩の岩石学と年代学

## Petrological and geochronological study of orthogneiss from the Tromsø Nappe in Scandinavian Caledonides

\*門田 康弘<sup>1</sup>、平島 崇男<sup>1</sup>、大林 秀行<sup>1</sup>、平田 岳史<sup>1</sup>\*Yasuhiro Monta<sup>1</sup>, Takao Hirajima<sup>1</sup>, Hideyuki Obayashi<sup>1</sup>, Takafumi Hirata<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

Orthogneiss is the predominant lithotype in ultra-high pressure (UHP) terranes in the world but it generally consists of low pressure metamorphic minerals of mainly amphibolite facies. However, extensive petrological studies succeeded to find several signs of UHP minerals from the country gneiss, and hence, most of the country gneiss shared the UHP metamorphism. The Scandinavian Caledonides were formed by collision between Baltica and Laurentia Cratons during Ordovician to Devonian, and are composed of several allochthons which have juxtaposed onto Precambrian cover. Evidences of UHP metamorphism are found from the Western Gneiss Region (WGR) in Lower Allochthon (Hacker et al., 2001), the Seve Nappe in Middle Allochthon (Majka et al., 2014), and the Tromsø Nappe in Uppermost Allochthon (Janák et al., 2013). In the WGR, UHP evidences occur widely in the NW part, however in the Seve and Tromsø Nappes UHP evidences are sporadic, so the areal extent of UHP metamorphism remains unclear. The Tromsø Nappe is mainly composed of eclogites, gneisses, schists and marbles. Krogh et al. (1990) estimated the peak  $P$ - $T$  conditions of country gneisses and pelitic schists as 670-700 °C and 1.5-1.7 GPa during  $D_1$  stage. After that, Janák et al. (2012) estimated the UHP metamorphic conditions of 720-800 °C and 3.2-3.5 GPa using pseudosection analysis and conventional geothermobarometry for eclogite in Tromsdalstind. Janák et al. (2013) finally found microdiamond from garnet-rich carbonate-bearing gneiss in Tønsvika. However, UHP evidence has not been reported from the country gneiss and schists. In this study, we report mineral paragenesis and zircon U-Pb age of orthogneiss hosting UHP eclogites in the Tromsø Nappe. Studied sample was collected from large blocks of orthogneiss distributing on the ridge around N69°26'0", E19°9'33" (garnet-muscovite schist unit: Zwaan et al., 1998). Main constituent minerals are garnet, muscovite, plagioclase, alkali-feldspar, and quartz with minor amounts of kyanite, rutile, biotite, hornblende, epidote, chlorite, ilmenite, and zircon. The alignments of mica and plagioclase porphyroclast characterize the gneissose structure. The LA-ICP-MS U-Pb dating of zircon in orthogneiss gives the majority of the concordant ages between 470 and 420 Ma, and minor inherited ages of about 1500-1300 Ma and 800 Ma. The weighted mean  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  age ( $\pm 2\sigma$ ) of rim of zircon is  $454.2 \pm 5.2$  Ma ( $n=21$ ). This age is consistent with metamorphic age of Tønsvika eclogites ( $452.1 \pm 1.7$  Ma; Corfu et al., 2003) within error. Most of garnets with a few 10 to 100  $\mu\text{m}$  diameter have Fe-rich compositions ( $\text{Alm}_{0.68-0.74}\text{Prp}_{0.11-0.18}\text{Grs}_{0.10-0.18}\text{Sps}_{0.01}$ ). They include quartz, rutile, zircon, and rare kyanite as primary inclusions. Some of them have Ca-rich rim ( $\text{Alm}_{0.63-0.68}\text{Prp}_{0.09-0.11}\text{Grs}_{0.20-0.26}\text{Sps}_{0.01}$ ) with a distinct chemical gap to the core. In some plagioclase, Ca-content decreases from the core ( $\text{An}=0.26-0.33$ ) to the rim ( $\text{An}=0.17-0.28$ ). Biotite commonly replaces rim of muscovite or occur as fine laths of a few 10  $\mu\text{m}$  diameter, suggesting the secondary origin, while muscovite is relatively coarse grained {100-500  $\mu\text{m}$  diameter;  $\text{Si}=6.13-6.38$  ( $O=22$ ),  $\text{TiO}_2=0.17-1.34$ ,  $X_{\text{Fe}}=0.28-0.50$ }. GASP geobarometer and Grt-Ms Fe/Mg exchange geothermometer give 450-500 °C and 1.1-1.2 GPa for the core-core pairs of garnet and plagioclase and 530-570 °C and 1.6-1.7 GPa for the rim-rim pairs of garnet and plagioclase, indicating the pressure increase is necessary for the rim formation.  $P$  condition estimated from the rim-rim pairs is consistent with  $D_1$  stage (1.5-1.7 GPa) of the country gneiss in the same nappe (Krogh et al., 1990), but  $T$  condition obtained by the same pair is

significantly lower than that of  $D_1$ , which may be caused by the modification of muscovite composition.

キーワード：超高压変成帯、カレドニア造山帯、正片麻岩、ジルコンU-Pb年代

Keywords: UHP terrane, Caledonides, orthogneiss, Zircon U-Pb dating

## 丹沢深成岩体に接する変成マフィック岩の変形微細構造

Deformation microstructures of metamorphic mafic rocks close to the boundary to the Tanzawa plutonic complex

\*水野 那希<sup>1</sup>、道林 克禎<sup>2</sup>

\*Tomoki Mizuno<sup>1</sup>, Katsuyoshi Michibayashi<sup>2</sup>

1. 静岡大学大学院総合科学技術研究科修士課程理学専攻、2. 静岡大学理学研究科地球科学専攻

1. Graduate School of Science, Shizuoka University, 2. Institute of Geosciences, Shizuoka University

本研究の目的は、丹沢深成岩体に接する変成マフィック岩の微細構造の発達過程について理解することである。研究試料は、丹沢深成岩体と変成マフィック岩の境界から南へ約1kmの範囲に分布する変成マフィック岩である。変成マフィック岩は境界付近では非常に発達した層状構造を持ち、角閃石が比較的単一な相が存在した。境界付近から離れると、層状構造が弱い岩石が存在し、角閃石と斜長石が混合していた。変成マフィック岩の構成鉱物は主に角閃石と斜長石であり、石英と単斜輝石を含む岩石も存在した。これらの変成マフィック岩の面構造と線構造をもとにしてXZ面で薄片を作成して微細構造を観察した。顕微鏡下では、角閃石は非常に伸長しており、輪郭が鮮明であった、斜長石は多角形を示し、部分的に動的再結晶していた。

角閃石と斜長石の結晶方位定向配列(CPO)測定の結果、角閃石のCPOはほとんどの岩石で強い(001)[100]パターンを示した。斜長石のCPOは、角閃石が少ない比較的単一な領域で強い(100)[001]パターンであったが、角閃石と斜長石が混合している領域では非常に弱い(010)[001]パターンと(100)[001]パターン、あるいはCPOをもたないランダムであった。角閃石粒子の集合した領域の結晶方位マップを解析した結果、角閃石粒子に垂粒界が確認された。さらに角閃石粒子間では面構造に垂直な結晶粒界が顕著に観察され、転位クリープにより生じる転位壁によって形成されることが報告されており(Cao *et al.*, 2010)、角閃石の変形メカニズムは転位クリープが支配的だったと考えられる。角閃石と斜長石の混合領域では、角閃石のCPOは(100)[001]パターン、斜長石ではランダムであり、角閃石と斜長石の両方でCPOパターンが顕著だった試料より粒径が小さい傾向を確認した。斜長石の細粒化には第二相である角閃石の量比の影響が考えられることから、粒径依存クリープによる変形が支配的であった可能性がある。

以上の結果から、角閃石が比較的単一な相では、転位クリープが支配的な変形メカニズムであり、角閃石と斜長石の混合相では、粒径依存クリープが支配的な変形メカニズムであったと結論される。

キーワード：転位クリープ、丹沢、CPO

Keywords: dislocation creep, Tanzawa, CPO

## SEM-EBSDで得られる結晶方位とSEM像方位の不一致について

## Inconsistency between SEM image and Crystal orientation data obtained by SEM-EBSD systems

\*三宅 亮<sup>1</sup>、瀧川 晶<sup>1,3</sup>、伊神 洋平<sup>1</sup>、大井 修吾<sup>2</sup>、中村 隆太<sup>1</sup>、土山 明<sup>1</sup>

\*Akira Miyake<sup>1</sup>, Aki Takigawa<sup>1,3</sup>, Yohei Igami<sup>1</sup>, Shugo Ohi<sup>2</sup>, Ryuta Nakamura<sup>1</sup>, Akira Tsuchiyama<sup>1</sup>

1.京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻地質学鉱物学教室、2.滋賀大学 教育学部、3.京都大学白眉センター

1.Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University, 2.Faculty of education, Shiga university, 3.The Hakubi Center for Advanced Research, Kyoto University

近年、走査型電子顕微鏡 (scanning electron microscope: SEM) に、電子線後方散乱回折 (electron back-scattering diffraction: EBSD) 検出器を取り付けることにより、SEMの中で特定の微小領域から結晶方位などの結晶学的な情報を得、さらには岩石を構成する鉱物の結晶方位の配向性をえることが盛んに行われている。

このSEM-EBSDを用いて、EBSP (electron back-scattering diffraction pattern) を取得し解析する場合、EBSP取得に関しては購入メーカーが提供するソフトを使い、解析に関してはメーカー既存のソフトや国内外の研究室が提供している解析ソフトを使用することが多い。一方、メーカー提供のソフトについては、El-Dasher et al. (2009)などによって、得られるSEM像とEBSPから得られた結晶方位との関係が正しくないという、問題が指摘されている。しかし、こうした指摘について周知されていない。そこで、我々の研究室において、SEM像とEBSPから得られた結晶方位との関係について、改めて検証を行ったので、その結果について報告を行う。

当研究室で用いたSEM-EBSDシステムは、SEMが日本電子株式会社製JEM-7001F、EBSD検出器がオックスフォード・インストゥルメンツ株式会社製HKL channel 5 である。

試料としては、Siおよびコランダム単結晶を用いた。ここで、Si単結晶は少し傾斜させて試料台にセットすることにより、a軸方向の向きとSEM像との関係がわかるようにした。この時用いる試料はSi結晶のような立方晶系ではなく、コランダムや石英など、c軸が分かる試料を用いると、SEM像と結晶方位の関係が非常にわかりやすくなる。

我々の研究室において、検出器メーカー提供のソフトHKL Channel 5を用いて取得・解析を行ったところ、SEM像を180度回転させることにより、得られたSEM像とEBSPから得られた結晶方位とが正しくなることが分かった。この結果は、El-Dasher et al. (2009)にて報告されている結果と同じである。

発表当日は、他のSEMとの組み合わせについても発表する予定である。

キーワード：SEM-EBSD、結晶方位

Keywords: SEM-EBSD, crystal orientation

## 角閃石片麻岩の弾性波速度と岩石微細構造

## Elastic wave velocity and microstructures of amphibolite gneisses

小池 寛太<sup>2</sup>、遠藤 弘人<sup>4</sup>、道林 克禎<sup>3</sup>、\*渡辺 了<sup>1</sup>Kanta Koike<sup>2</sup>, Hiroto Endo<sup>4</sup>, Katsuyoshi Michibayashi<sup>3</sup>, \*Tohru Watanabe<sup>1</sup>

1.富山大学大学院理工学研究部、2.富山大学理学部、3.静岡大学大学院理学領域、4.静岡大学大学院総合科学技術研究科理学専攻

1.Graduate School of Science and Engineering, University of Toyama, 2.Faculty of Science, University of Toyama, 3.Institute of Geosciences, Shizuoka University, 4.Graduate School of Science, Shizuoka University

Seismic velocity is one of the most important sources of information about the Earth's interior. For its proper interpretation, we must have a thorough understanding of the dependence of seismic velocity on microstructural elements, including the modal composition, the crystal preferred orientation (CPO), the grain shape, the spatial distribution of mineral phases, etc. We have studied seismic velocities and microstructures of amphibole gneisses. Rock samples of amphibole gneisses were collected at Momose River (Yatsuo, Toyama Pref.). They are mainly composed of quartz (34-36vol.%), plagioclase (18-27vol.%) and hornblende (34-46vol.%). Quartz and plagioclase crystals are almost randomly oriented, while c-axes of hornblende crystals are strongly aligned parallel to the lineation and a-axes perpendicular to the foliation. A rectangular parallelepiped (the edge length ~ 40 mm) was made from rock samples for ultrasonic velocity measurements. Two faces are parallel to the foliation plane, and two faces perpendicular to the elongation direction. Velocity measurements were made under confining pressures of up to 180 MPa at room temperature. The pulse transmission technique was employed by using Pb(Zr, Ti)O<sub>3</sub> transducers with the central frequency of 2 MHz. Under the confining pressure of 180 MPa, the fastest compressional wave velocity was observed in the direction parallel to the lineation, and the slowest one in the direction perpendicular to the foliation. Velocities calculated with the VRH averaging scheme reasonably reproduce the measured velocities. The anisotropy in velocity is caused by the CPO of hornblende crystals, though the anisotropy due to aligned hornblende crystals is largely weakened by almost randomly oriented quartz and plagioclase crystals. The influence of the grain shape of hornblende on the anisotropy in velocity will also be discussed in our poster.

キーワード：角閃石、片麻岩、異方性、弾性波速度、結晶選択配向

Keywords: amphibolite, gneiss, anisotropy, elastic wave velocity, crystal preferred orientation



## マントル起源かんらん岩のかんらん石巨晶の成因

## Olivine megacrysts in mantle peridotites

\*南山 明里<sup>1</sup>、曾田 祐介<sup>1</sup>、田村 明弘<sup>1</sup>、荒井 章司<sup>1</sup>、森下 知晃<sup>1</sup>\*Akari Minamiyama<sup>1</sup>, Yusuke Soda<sup>1</sup>, Akihiro Tamura<sup>1</sup>, Shoji Arai<sup>1</sup>, Tomoaki Morishita<sup>1</sup>

1.金沢大学大学院自然科学研究科自然システム学専攻 地球環境コース

1.Earth and Environmental Sciences Course, School of Natural System, Kanazawa University

上部マントルの結晶の粒径は、温度、圧力、応力で決まると考えられており、通常は1 cmを超えるような結晶は形成されない。(Ave Lallemant et al., 1980; 唐戸, 2011など)しかし、実際の天然のかんらん岩には数cmを超える粒径をもつ結晶(巨晶)が世界中で少なからず存在している(北海道の幌満かんらん岩、アメリカのSan Carlosのかんらん岩捕獲岩、ノルウェーWGRのかんらん岩など)。予想を超える大きさの巨晶を含むかんらん岩が世界中で存在していることから、かんらん岩の中に巨晶を形成する過程があるのではないかと考えられる。もし、巨晶を形成するメカニズムが上部マントル条件下で存在するならば、マントル物質の流動や結晶境界が関与する物質移動、地震波速度構造に影響を及ぼしている可能性がある。1 cmを超える巨晶形成を実験室で再現するのは難しく、天然試料の解析に頼るしかない。このことから、天然の巨晶かんらん石を研究し、その特徴を明らかにすることは、上部マントルでの巨晶形成の可能性について検討する上で重要である。そこで、北海道の幌満かんらん岩中に産するかんらん石巨晶に着目し、かんらん石巨晶の特徴と普通の粒径の部分との違いと、その前後関係について検討した。

使用した幌満かんらん岩は、Lower ZoneのMHL系列で採取したものである。巨晶かんらん石は面構造にほぼ平行で、肉眼で観察すると、普通の粒径のかんらん石よりも濃く見える。普通の粒径の層(細粒部)はポーフィロクラスティック組織である。巨晶かんらん石とかんらん石ポーフィロクラストには亜粒界が発達している。巨晶かんらん石の縁に見られる亜粒界は、かんらん石ポーフィロクラストと同じ(100)に平行である。巨晶かんらん石中にはラメラが形成されており、スピネル、単斜輝石、角閃石で構成されている。

U-stageで測定した結晶方位と亜粒界の方位を元に、巨晶かんらん石の中央部と縁にそれぞれ[001](100)と[100](001)のすべり系が確認された。細粒部では、[100](010)のすべり系が卓越するA-typeファブリックが見られる(Jung et al., 2006)。また、巨晶かんらん石に接する細粒かんらん石の結晶方位は、巨晶かんらん石と細粒かんらん石の中間的なファブリックである。巨晶かんらん石の縁のすべり系と、縁に接する細粒かんらん石のCP0から、巨晶かんらん石はA-typeファブリックを形成する塑性変形を受ける前から存在していたと推定できる。A-typeファブリックが見られる幌満かんらん岩は、試料を採取した構造帯で報告されており(Sawaguchi, 2004)、幌満かんらん岩体が上部マントルから上昇する過程で形成されたものと解釈されている(Sawaguchi, 2004)。これより、巨晶かんらん石と細粒部は、上部マントル内を上昇する間にA-typeファブリックを形成したと考えられる。

巨晶かんらん石は、ラメラ形成前には細粒かんらん石よりもAl, Cr, Na, Ti, Ca量が多いと考えられる。角閃石のラメラが見られることから、巨晶かんらん石はラメラ形成前に含水かんらん石であったか、無水鉱物のラメラ形成後に加水されたかのいずれかが考えられる。本発表では、かんらん石巨晶を含んでいる他の幌満かんらん岩やノルウェーWGRのかんらん岩での結果を報告する。

## 沈み込み帯における地殻—マントル物質境界の交代作用：四国中央部三波川帯富郷地域の蛇紋岩岩体における例

Metasomatic reactions at crust-mantle boundary in subduction zone: an example from Tomisato ultramafic body in the Tomisato area, central shikoku, Japan

\*大柳 良介<sup>1</sup>、岡本 敦<sup>1</sup>、宇野 正起<sup>1</sup>、土屋 範芳<sup>1</sup>

\*Ryosuke Oyanagi<sup>1</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Masaoki Uno<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>

1.東北大学大学院環境科学研究科

1.graduate school of environmental studies, tohoku university

沈み込み帯において、地殻とマントルの物質境界は大規模な物質移動が起きると考えられており、マントルかんらん岩の加水反応・交代作用によって生成した蛇紋岩（蛇紋石、ブルース石、滑石など）がスラブの滑りの挙動に大きく寄与していることが指摘されている（e.g., Peacock and Hyndman, 1999; Mizukami et al., 2014）。マントルかんらん岩とシリカに富む地殻起源の流体との交代作用は、MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O系における反応が考えられているが（Manning, 1995, 1997）、地殻とマントル物質境界の交代作用に着目した研究は限られており（e.g., Peacock, 1987; King et al., 2003）、多元素の移動プロセスや加水・脱水反応との関係はよくわかっていない。

本研究では、四国中央部三波川帯の富郷地域に産する蛇紋岩ブロック（以下、富郷岩体と呼ぶ）における2つの地殻—マントル境界について検討を行う。この蛇紋岩体は約20メートルほどのサイズであり、北側と南側で地殻物質と接している。そのため、沈み込み帯における交代作用を読み解くのに適している。富郷岩体はざくろ石帯の位置している。富郷岩帯はほぼすべて蛇紋岩化しているが、ブルース石の産出は見られない。また、輝石の痕跡はなく源岩はダナイトであると考えられる。地殻物質との境界から離れた場所ではブロックとマトリックスのアンチゴライトが観察され、ブレッチャ化もしくはblock-in-matrix構造をなす。ブロックのアンチゴライトは細粒であるのに対して、マトリックスのアンチゴライトは粗粒の板状結晶からなっている。富郷岩体北側の地殻とマントルの物質境界は塩基性片岩と超塩基性岩が接しており、超塩基性岩内に透閃石+滑石の脈が産出する。一方、富郷岩体南側の地殻とマントルの物質境界は、泥質片岩と超塩基性岩が接しており、超塩基性岩内に滑石の脈が発達する特徴がある。北側境界では、超塩基性岩との境界では塩基性片岩が産出するが、境界から離れると泥質片岩が産出する。蛇紋岩は塩基性片岩との境界から離れるにつれ、透閃石+アンチゴライト+滑石±クロライト / アンチゴライト+滑石 / アンチゴライトという鉱物組合せに変化し、透閃石と滑石はそれぞれ境界から～80 cm, ~110 cmまでに確認される。一方、南側境界は、蛇紋岩と泥質片岩の境界である。蛇紋岩は泥質片岩との境界から離れるにつれ、アンチゴライト+滑石 / アンチゴライトという鉱物組合せに変化し、滑石は境界から～80cmまでに確認される。透閃石+滑石の脈や滑石の脈はブロックのアンチゴライトを網目状に埋めるように産出しており、これらの脈を伴う場合、マトリックスのアンチゴライトが観察されない場合が多い。以上の観察を踏まえると、両境界とも塊状のアンチゴライトが生成した後、Siに富んだ流体により交代作用を受けたと考えられる。今後更なる検討を行い、(1)いつ三波川帯に取り込まれたのか、(2)どのステージでの交代作用を記録しているのか、(3)地殻物質とマントル物質間で物質量は保存されているのか、(4)交代作用による流体の発生と水圧破砕の可能性について議論を行う。

キーワード：地殻—マントル境界、交代作用、蛇紋岩、三波川帯、泥質片岩、塩基性片岩

Keywords: crust-mantle boundary, metasomatism, serpentinite, Sanbagawa metamorphic belt, pelitic schist, basic schist

## 斜長石の堇青石化が生じうる溶液のFe,Mg最低濃度および組成

## Estimation of Minimum Fe-Mg content for Plagioclase-Cordierite replacement

\*古川 登<sup>1</sup>、廣井 美邦<sup>1</sup>、本吉 洋一<sup>2</sup>

\*Noboru Furukawa<sup>1</sup>, Yoshikuni Hiroi<sup>1</sup>, Yoichi Motoyoshi<sup>2</sup>

1.千葉大学大学院理学研究科、2.国立極地研究所

1.Graduate School of Science Chiba University, 2.National Institute of Polar Research

Conventional studies suggested that chemical compositions of metamorphic fluid consist of C-H-O-S system, and other elements such as Na, Ca, and Si are not transported with the fluid. These elements, however, do dissolve in the fluid in some instances, as exemplified by quartz-filled vein and as demonstrated by various studies of fluid inclusions. For example, in tonalitic granulite in Sri Lanka, plagioclase was substituted locally by cordierite.

We attempt to obtain the essential data about the element transport within the metamorphic fluid, by experimentally reproducing the chemical reactions that are responsible for element inflow and outflow. They include the solubility of mineral to the fluid, the chemical composition and concentration of the fluid, and their change in the pressure and temperature conditions. By utilizing this information, we should be able to limit the range of the chemical composition and concentration, and the P-T values.

This study has determined the minimum ratio of Mg/(Fe+Mg) and the minimum concentration of (Mg, Fe)Cl<sub>2</sub> for the plagioclase-cordierite replacement, by utilizing hydrothermal experiments. Because the ample amount of tonalitic-granulite specimen in Sri Lanka for this experiment is not available, we have used powdered specimens of anorthosite from the Natal region, South Africa, and chloride solution of Mg and Fe. These materials were sealed into gold capsule with or without CO<sub>2</sub> and were held at a pressure of 100 MPa and a temperature of 600 °C in autoclave for 130-400 hours. We have obtained the following results:

The minimum concentration of MgCl<sub>2</sub> for the plagioclase-cordierite replacement is approximately 0.08 mol/kg.

The minimum ratio of Mg/(Fe+Mg) for the plagioclase-cordierite replacement is approximately 0.2. These minimum values derived above are not influenced by the presence of CO<sub>2</sub>.

It is estimated that the Mg/(Fe+Mg) ratio of the fluid responsible for the plagioclase-cordierite replacement in the tonalitic granulite in Sri Lanka is approximately 0.2.

東南極リュツォ・ホルム岩体に産するコランダムに発達するコロナの形成過程  
Formation of Corona around Corundum in the Lützow-Holm Complex, East Antarctica

\*森 祐紀<sup>1</sup>、池田 剛<sup>2</sup>

\*Yuki Mori<sup>1</sup>, Takeshi Ikeda<sup>2</sup>

1.九州大学大学院理学府地球惑星科学専攻、2.九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

1.Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University,

2.Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Science, Kyushu University

Corona structures preserve both reactant and product minerals, which gives us information of its formation process including mass transformation. We investigated a corona structure in corundum-bearing ultramafic rocks in Akarui Point of the Lützow-Holm Complex, East Antarctica. The studied samples are composed mainly of calcium amphibole, plagioclase and corundum with minor biotite, spinel and sapphirine. The corundum grains are surrounded by the corona composed of spinel, sapphirine and plagioclase. These minerals are regularly arranged from corundum to the matrix. In the corona, cracks in spinel usually continue to sapphirine, but never extend further into plagioclase nor continue to corundum. We consider that the corona was produced by reaction between corundum and matrix calcium amphibole. Mass-balance in the  $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$  system provides the following equation: corundum + spinel + calcium amphibole = sapphirine + plagioclase +  $\text{H}_2\text{O}$ -fluid. This equation shows spinel as reactant, which is inconsistent with the microstructure. This suggests that the corona was formed in an open system. We employed following additional assumption based on the microstructure. Continuity of cracks in spinel and sapphirine is indicative of former single phase. Provided that sapphirine was formerly spinel, corundum changed to spinel by supply of MgO from calcium amphibole. The remaining components in calcium amphibole may produce plagioclase, and excess  $\text{SiO}_2$  would be released. After this reaction, significant amount of spinel was transformed to sapphirine due to supply of  $\text{SiO}_2$ . Alternatively provided that spinel was formerly sapphirine, corundum and calcium amphibole produced sapphirine and plagioclase. Similar to the former case, this reaction also released  $\text{SiO}_2$ . After that, sapphirine was partially transformed to spinel and released  $\text{SiO}_2$ . The net reaction based on both two cases is corundum + calcium amphibole = spinel + sapphirine + plagioclase +  $\text{H}_2\text{O}$ -fluid +  $\text{SiO}_2$ . This open-system reaction suggests that decrease of  $\text{SiO}_2$ -activity triggered the corona-forming reaction.

キーワード：コロナ、反応組織、コランダム、リュツォ・ホルム岩体

Keywords: corona, reaction microstructure, corundum, Lützow-Holm Complex

## Petrological studies of high-grade paragneisses from Onzon and Thabeikkyin areas, central Myanmar

\*Thu YE Kyaw<sup>1</sup>, Masaki Enami<sup>2</sup>

1. Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, 2. Institute for Space-Earth Environmental Research, Nagoya University

The sigmoidal and elongated Mogok metamorphic belt extends for 1500 km from the Andaman Sea in the south to the eastern Himalayan syntaxis in the north and has variable metamorphic conditions throughout the belt. It lies at the western margin of Shan-Thai block and comprises high-grade metasedimentary rocks and metaigneous rocks with subduction-related granitoid intrusions. Previous radiometric studies, based on U-Th-Pb and Ar-Ar dating, concluded that an assembly of these high-grade metamorphic rocks was formed during Paleogene to early Neogene event that was caused by the collision of remnants of Gondwanaland with the Eurasian continent and subsequent underthrusting and collision of Indian plate with Eurasian plate. The metamorphic grade of the Mogok metamorphic rocks reaches upper amphibolite facies and granulite facies in some places.

Samples were collected from the middle segment of the Mogok belt, ~100 km north of the Mandalay region, where the geology is dominated by high-grade paragneisses overlain by various types of marbles and calc-silicate rocks trending toward the NE-SW and ENE-WSW directions. The marbles occur in massive or scattered blocks and are medium- to coarse-grained, showing polycrystalline texture. Their common mineral assemblage contains diopside, forsterite, chondrodite, garnet, phlogopite, and graphite, suggesting metamorphic grade up to upper amphibolite facies. In places, the marbles are intruded by biotite micro-granite, syenite, and pegmatite.

The paragneisses are medium- to coarse-grained and show well-banded gneissose texture defined by elongated layers of biotite, feldspar, and quartz. The matrix of the paragneisses is mainly composed of garnet, cordierite, biotite, plagioclase, K-feldspar, quartz, ilmenite, and rutile. Graphite and monazite are common accessory minerals. Sillimanite mainly occurs as inclusions within garnet. Most porphyroblastic garnet grains (> 3 mm) show retrograde zoning with increasing almandine  $\{X_{alm} = Fe / (Ca + Mg + Fe + Mn) = 0.53 - 0.58\}$  and decreasing pyrope contents  $\{X_{pyr} = Mg / (Ca + Mg + Fe + Mn) = 0.37 - 0.43\}$  towards the rim. Grossular ( $X_{gros} = 0.03$ ) and spessartine ( $X_{sps} = 0.02$ ) contents are low and fairly constant. Cordierite grains  $\{X_{Mg} = Mg / (Mg + Fe) = 0.68 - 0.83\}$  occur as the matrix phase, inclusions in garnet, and as pseudomorphs after garnet. Using garnet-biotite geothermometer and garnet-biotite-plagioclase-quartz (GBPQ) geobarometer, the matrix assemblage estimates pressures (P) and temperature (T) conditions of 0.5–0.8 GPa and 750–870°C. Biotite grains occur as an isolated phase in the matrix, inclusions in garnet, and a symplectic phase around garnet. Fluorine and chlorine contents are up to 0.6 wt. % and less than 0.1 wt. %, respectively. The Ti-in biotite geothermometer suggests 800°C or higher-temperature for the Ti-rich isolated biotite grains. Zr-in-rutile geothermometer gives temperature estimates of 750–935°C (at P = 0.8 GPa), which are consistent with those estimated using a conventional geothermometer.

The samples analyzed in this study demonstrate that metamorphic conditions in the Mogok Belt reached 800°C or higher, implying wide distribution of granulite facies metamorphic rocks in the middle segment of the Mogok metamorphic belt.

Keywords: paragneiss, granulite, metamorphic conditions, Mogok metamorphic rocks, Myanmar

## 青森県白神山地西部に発達するマイロナイト帯の変形環境の推定

Deformation environment of the mylonite zone to the west of Shirakami Mountains, Northeast Japan

\*綿貫 峻介<sup>1</sup>、坂 秀憲<sup>2</sup>、金井 拓人<sup>1</sup>、高木 秀雄<sup>1</sup>

\*Shunsuke Watanuki<sup>1</sup>, Hidenori Saka<sup>2</sup>, Takuto Kanai<sup>1</sup>, Hideo Takagi<sup>1</sup>

1.早稲田大学、2.独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

1.Waseda University, 2.New Energy and Industrial Technology Development Organization

青森県白神山地の西部に分布する白神岳花崗岩類(片田・大沢, 1964)には、海岸線に沿って南北に延性剪断帯が発達しており、藤本・山元(2010)により、白神岳マイロナイト帯と呼ばれている。このマイロナイト帯については、高橋(2001)によって産状と剪断センスの報告がなされており、藤本・山元(2010)や酒井ほか(2012)はその産状と鏡下観察の結果から、マイロナイトの形成過程を考察している。筆者らは、(1)マイロナイト帯の詳細な産状及び構造の解析並びに(2)再結晶石英の結晶方位定向配列(以下CP0)パターンに基づく変形環境の推定を行ったので報告する。

(1)マイロナイト帯は600 m程度の幅を持ち南北約2 kmにわたって発達している。中心部の幅200 m程度の範囲はウルトラマイロナイト化しており、局所的にカタクレーサイト化を重複して受けている。マイロナイトの面構造は南北走向で東に40~80°傾斜し、線構造は北東方向に30~70°の沈下を示す。また、非対称プレッシャーシャドウなどの非対称変形構造は左ずれ正断層の剪断センスを示し、ピッチの角度から左ずれが優勢である。

(2)マイロナイト帯を横切る2ルートでマイロナイト中の多結晶石英集合体を対象として、SEM-EBSD法を用いて結晶方位及び粒径を測定した。その結果、両ルートともにマイロナイト帯中心部ではランダムなCP0パターンを示し、平均粒径は約8.5 μmであった。一方、中心部以外ではタイプIクロスガードル~Y集中のCP0パターンを示し、平均粒径は13.1~198 μmであった。前者は粒径とCP0パターンから、拡散クリープによる変形であると推定できる(Passchier and Trouw, 2005)。後者はCP0パターンがタイプIクロスガードルからY集中に切り替わる温度である、350-450 °Cでの転位クリープによる変形であると推定できる(竹下, 1996)。また、CP0パターンを明瞭に示す最も細粒な試料の平均粒径と推定温度(約400 °C)から、変形時の差応力を古差応力系(Stipp and Tullis, 2003)を用いて計算すると約87 MPa、転位クリープの流動則(Hirth et al, 2001)を用いて計算すると、歪速度は約 $10^{-10} \text{ s}^{-1}$ となる。さらに、転位クリープ流動則と拡散クリープの流動則(Coble, 1963)を用いて、拡散クリープによる変形時の差応力の上限を計算すると、約10 MPaとなり、転位クリープによる変形と異なるステージで拡散クリープを伴う変形が幅70 m程度の狭いゾーンに集中したものと推定できる。以上より、マイロナイト帯では400 °C前後の環境下で転位クリープによる変形の後に、拡散クリープによる変形が剪断帯の中心で局所的に起き、さらに地表近くで部分的に脆性破砕をしたものと考えられる。

## 文献

Coble, R. L., 1963, *Jour. Appl. Phys.*, 34, 1679-1682.

藤本幸雄・山元正継, 2010, *地球科学*, 64, 127-144.

Hirth, G., Teyssier, C. and Dunlap, W. J., 2001, *Int. J. Earth Sci.*, 90, 77-78.

片田正人・大沢 穠, 1964, *地調月報*, 15, 87-94.

Passchier, C. W. and Trouw, R. A. J., 2005, Springer, Berlin, p44.

酒井 亨・西川 治・藤本幸雄, 2012, 日本地質学会第119年学術大会講演要旨, R14-013, 144.

Stipp, M. and Tullis, J., 2003, *Geophys. Res. Lett.*, 30, 2088.

高橋 浩, 2001, 日本地質学会第108年学術大会講演要旨, P-25, 210.

竹下 徹, 1996, *地質雑*, 102, 211-222.

キーワード：白神山地、白亜紀花崗岩類、マイロナイト、石英結晶方位定向配列

Keywords: Shirakami Mountains, Cretaceous granitic rocks, Mylonite, quartz CP0



神居古潭変成帯の緑簾石角閃岩に発達したAb-CaCO<sub>3</sub>相脈中のOmphacite-Diopside共生  
Coexisting Omphacite-Diopside in Ab-CaCO<sub>3</sub> phases vein developed in Epidote-amphibolite  
olistolith in kamuikotan Metamorphic belt.

\*木下 周祐<sup>1</sup>、平島 崇男<sup>1</sup>

\*Shusuke Kinoshita<sup>1</sup>, Takao Hirajima<sup>1</sup>

1. 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

1. Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

Ca-Na pyroxene is a common mineral in eclogite and blueschist facies metamorphic rocks. Omphacite with an intermediate composition between jadeite and augite is considered to be a clinopyroxene group with ordered  $P2/n$  symmetry, because the cation partitioning and ordering in NaAl-CaMg substitution took place below the critical temperature. At further lower temperatures, two miscibility gaps were proposed between omphacite and  $C2/c$  sodium-rich augite, and omphacite and  $C2/c$  impure jadeite in the jadeite-augite binary system based on a thermodynamic theory and petrographic evidences (Carpenter, 1980). As natural Ca-Na pyroxenes generally incorporates  $Fe^{3+}$  as an aegirine component at various degrees, several phase diagrams of Ca-Na pyroxenes concerning with stability fields of  $C2/c$  and  $P2/n$  symmetries have been proposed in the jadeite-aegirine-augite ternary system based on a number of thermodynamic models (e.g. Carpenter, 1980; Holland, 1990; Green et al., 2007). As the low-temperature stability conditions of Ca-Na pyroxenes harm their synthetic study, thus it is necessary to justify the validity of proposed phase diagrams using natural samples. In this study, we report the petrology of omphacite and sodium-rich augite pair which was newly found from high-pressure mineral veins developed in an epidote amphibolite block collected from the Horokanai area in the Kamuikotan metamorphic belt, central Hokkaido. Shibakusa (1989) divided the metamorphic rocks in the Horokanai area into three zones, Zone I {lawsonite blueschist (BS) facies} to Zone III (epidote BS facies), based on the mineral assemblages of mafic rocks. Imaizumi (1984) reported the occurrence of epidote amphibolite blocks from the Horokanai pass area, which is located in Zone III of Shibakusa (1989), and he concluded that these blocks represent olistoliths within the Kamuikotan metamorphic rocks prior to the BS-facies metamorphism. We identified three kinds of metamorphic veins; 1) Pale green, 2) yellowish green and 3) white veins. The pale green vein is about 1 cm thick and its central part is mainly composed of Ca-Na pyroxenes, carbonate (aragonite and calcite) and albite, while apatite is partly developed in the outer part of the vein. Yellowish green veins and white veins are less than 1 mm thick and mainly composed of pumpellyite and albite, respectively. The composition of pumpellyite is identical to those of Zones II and III of Shibakusa (1989). Calcite is considered to have developed after the formation of aragonite, as aragonite is always surrounded by calcite. These observations suggest that the vein-forming conditions are about 250-350 °C and less than 7-10 kbar ( $P$ - $T$  estimation for Zone II/III of Shibakusa, 1989). Most of Ca-Na pyroxenes occur as anhedral grains, ca. 1mm in length, in the central part of the pale green vein. They are composed of two domains, 20-100  $\mu$ m in width, separated by straight boundary which can be easily identified by their different birefringence. The chemical composition of the two domains is omphacite ( $Jd_{30-40}Acm_{15-25}Di_{38-55}$ ) and sodium-rich augite ( $Jd_{4-8}Acm_{9-15}Di_{77-95}$ ), respectively, showing an obvious gap, probably between  $P$  lattice omphacite and  $C$  lattice sodium-rich augite. Tsujimori (1997) reported the coexistence of omphacite and sodium-rich augite in an omphacitite collected at the Osayama serpentinite mélange, Sangun-Renge belt. They are less  $Fe^{3+}$  contents compared with our data and are associated with pumpellyite. The results of our study and Tsujimori (1997) propose a miscibility gap between omphacite and sodium-rich augite at 250-350 °C, which is slightly wider than that proposed by



Carpenter (1980) at 350 °C and there is a tendency that omphacite slightly prefers  $\text{Fe}^{3+}$  content rather than the coexisting sodium-rich augite.

キーワード：神居古潭変成帯、オンファス輝石-ディオプサイド不混和領域、アラレ石

Keywords: kamuikotan metamorphic belt, omphacite-diopside gao, aragonite

## 島根県西部江津地域に分布する周防変成帯青色片岩の変成作用

Metamorphic conditions of Gotsu blueschists in the Suo metamorphic belt, SW Japan

\*高須 晃<sup>1</sup>、Li Weimin<sup>2</sup>、Fazle Kabir<sup>1</sup>\*Akira Takasu<sup>1</sup>、Weimin Li<sup>2</sup>、Kabir Md Fazle<sup>1</sup>

1.島根大学総合理工学部地球資源環境学教室、2.吉林大学

1.Department of Geoscience, Faculty of Science and Technology, Shimane University, 2.College of Earth Science, Jilin University, China

西南日本内帯に分布する周防変成帯には160-230 Maの変成年代を示す高圧型変成岩（パンペリー石-アクチノ閃石相-藍閃石片岩相-緑れん石角閃岩相）が分布する（Nishimura, 1998）。江津地域の青色片岩の構成鉱物は緑れん石、角閃岩（Na, Na-Ca, Ca角閃岩）、曹長石、緑泥石、フェンジャイト（Si: 6.62-7.02）、石英、方解石、チタン石、赤鉄鉱、りん灰石、黒雲母からなる。角閃岩は組成累帯構造を示す（ウインチ閃石-藍閃石-ウインチ閃石、藍閃石-マグネシオリーベック閃石-ウインチ閃石/アクチノ閃石）。粗粒の藍閃石は緑れん石、石英、方解石を包有し、緑れん石斑状変晶は、緑泥石、藍閃石、曹長石、石英、赤鉄鉱を包有する。青色片岩の組織と鉱物化学組成より、変成作用は昇温ステージ、ピーク、降温ステージの3つのステージに区分できる。昇温ステージは緑れん石斑状変晶中の包有鉱物と藍閃石のコアにみられるウインチ閃石によって定義され、緑色片岩相から青色片岩相の変成条件を示す。ピーク変成作用は斑状変晶緑れん石、藍閃石、フェンジャイト、緑泥石、チタン石、赤鉄鉱により示され、緑れん石青色片岩相に相当する。変成条件は430-530 °C、12-15.5 kbarが見積もられる。藍閃石のリムはウインチ閃石/アクチノ閃石に累帯構造し、藍閃石を置換する緑泥石とともに緑色片岩相の降温ステージの条件を示す。

中国北東部Heilongjiang Complexには低温高圧型の変成岩が分布し、その中の青色片岩は320-550 °C、6-15 kbarの変成条件を示す（Li et al., 2010）。低温高圧型変成岩の<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar年代として145-184 Maが報告されている（Li et al., 2011）。江津の青色片岩とHeilongjiang Complexの青色片岩の変成条件と変成年代のうえで共通点が多く、これらはジュラ紀の同一のサブダクション帯で形成された高圧型変成岩と考えられる。

## 文献

Li, W., Takasu, A., Liu, Y. and Guo, X. (2010) Newly discovered garnet-barroisite schists from the Heilongjiang Complex in the Jiamusi Massif, northeastern China. *JMPS*, 105, 86-91.

Li, W., Takasu, A., Liu, Y. Johann Genser, J., Zhao, Y. Han, G. and Guo, X. (2011) U-Pb and <sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar age constrains on protolith and high-P/T type metamorphism of the Heilongjiang Complex in the Jiamusi Massif, NE China. *JMPS*, 106, 326-331.

Nishimura (1998) Geotectonic subdivision and areal extent of the Sangun belt, Inner Zone of Southwest Japan. *J. metamorphic Geol.*, 16, 129-140.

キーワード：青色片岩、Heilongjiang Complex, NE China、周防変成帯

Keywords: blueschist, Heilongjiang Complex, NE China, Suo metamorphic belt

## 系魚川市青海地域に分布する蓮華変成岩の源岩年代について

The source rock age of Renge metamorphic rock in the Omi-area, Itoigawa city.

\*吉田 拓海<sup>1</sup>、Satish-Kumar Madhusoodhan<sup>1</sup>、植田 勇人<sup>1</sup>\*Takumi Yoshida<sup>1</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>1</sup>, Hayato Ueda<sup>1</sup>

1.新潟大学

1.Niigata university

新潟県系魚川市西部の青海地域には、古生代のK-Ar年代を持つ様々な変成岩類が産出することは古くから知られている。それら変成岩類は蛇紋岩を伴いヒスイ輝石岩や藍閃石片岩、角閃岩やエクロジャイトなど様々なテクトニックブロックからなる蛇紋岩メランジユを形成しているとされている(松本ほか2011)。またエクロジャイトや藍閃石片岩などの高圧変成岩が分布するエリアとしてECユニットを設定されそれ以外の地域はNon-ECユニットとされており(Tsujimori, 2002)異なる変成作用を受けた岩石が近接して分布している。青海地域は約280~340MaのK-Ar年代を持つ結晶片岩が卓越し(梶座ほか2004など)、古生代の沈み込み帯のテクトニクスを解明するうえで重要な地域とされている。しかし青海地域は1980年代から詳細な岩石学的検討が行われてきた反面、前述の二つのユニット間の関係など構造やその成因はいまだ不明瞭な点が多い。以上の問題を解決する一助とするため、ECユニットに区分されている地域から高圧変成作用を受けた岩石を採取し、ジルコンを分離後U-Pb年代測定を行った。

年代分析に使用した試料は、青海地域上路集落近くのしな谷中流で採取したザクロ石藍閃石岩である。サンプルは直径2~5mmのザクロ石斑状変晶が、長軸約2~4mmの藍閃石が卓越する基質中に見られ、一部緑泥石に富む部分が層状に認められる。サンプルは野外において直径約1~5mmのザクロ石が含まれる黒色泥質片岩中に、層状~レンズ状に見られ変質部分以外には雲母類は全く見られない。このザクロ石藍閃石岩中に含まれるジルコンを抽出した。抽出したジルコン粒子についてCL像観察を行ったところ、ほとんどの粒子が比較的発光の弱いコアと発光の強いリムを持つことがわかった。U-Pb年代測定には新潟大学のLA-ICPMSを用い、115個のジルコン粒子について行った。その結果34地点からコンコーディア年代を得た。測定したジルコン粒子のコアの年代の多くが約420~690Maの年代を示し約450~460Maに最も顕著な年代ピークが認められた。また約1200~1460Maの年代を示す粒子も認められた。

今回得られた年代値は、本地域において過去の研究で得られた結晶片岩の冷却年代(K-Ar年代)である約280~340Ma(梶座ほか2004など)や、エクロジャイト相の高圧変成作用の年代とされる380Ma(辻森, 2010)より古い。また今回年代分析に用いた試料はXRFを用いた全岩化学組成分析では玄武岩質の組成を示している。しかしジルコンを多量に含むことや様々な年代を持つジルコン粒子が含まれていることなどから原岩が玄武岩であるとは考えにくく、様々な可能性が考えられるため今後さらなる検討が必要である。

・Tsujimori, T., 2002. Prograde and Retrograde P-T Paths of the Late Paleozoic Glaucofanite Eclogite from the Renge Metamorphic Belt, Hida Mountains, Southwestern Japan. *International Geology Review* 44, 797-818.

・梶座圭太郎ほか, 2004, 年代学からみた飛騨外縁帯の構造発達史:高圧変成岩類のK-Ar年代と蛇紋岩に接触変成作用を与えた花崗岩類のU-Th-Pb EMPからの制約. 地質学雑誌, 110, 580-590.

・辻森 樹, 2010, 日本列島に記録された古生代高圧変成作用—新発見とこれから解決すべき問題点—. 地学雑誌, 119(2), 294-312.

・松本謙一ほか, 2011, 飛騨外縁帯系魚川-青海地域の地質と変成作用—日本列島地質体最古の沈み込み型変成作用と上昇期の加水変成作用—. 地学雑誌, 第120巻 4-29.

キーワード：蓮華変成岩、U-Pb年代

Keywords: Renge metamorphic rock, U-Pb age