

Placing time constraints on a P-T-D evolution: insights from Lu-Hf garnet and U-Th-Pb monazite dating

Placing time constraints on a P-T-D evolution: insights from Lu-Hf garnet and U-Th-Pb monazite dating

SKRZYPEK, Etienne^{1*}; SZCZEPANSKI, Jacek²; ANCZKIEWICZ, Robert³; STIPSKA, Pavla⁴; KRONER, Alfred⁵
SKRZYPEK, Etienne^{1*}; SZCZEPANSKI, Jacek²; ANCZKIEWICZ, Robert³; STIPSKA, Pavla⁴; KRONER, Alfred⁵

¹Kyoto University, ²University of Wroclaw, ³Polish Academy of Sciences, Krakow, ⁴Universite de Strasbourg, ⁵Universitat Mainz

¹Kyoto University, ²University of Wroclaw, ³Polish Academy of Sciences, Krakow, ⁴Universite de Strasbourg, ⁵Universitat Mainz

The best approach for understanding the tectono-thermal evolution of a crustal level is through reconstructing its pressure-temperature-deformation-time (*P-T-D-t*) evolution. Whereas *P-T-D* paths can be inferred from crystallization-deformation relationships, placing absolute time constraints on such paths remains challenging, especially because a link between major element-bearing index minerals and trace element-bearing geochronometers needs to be established.

We present the example of medium-grade metasedimentary rocks (Orlica-Snieznik Dome, European Variscan Belt) for which results of Lu-Hf garnet and U-Th-Pb monazite dating are linked with prograde and retrograde stages of the *P-T-D* evolution, respectively. On the macroscopic scale, a succession of three metamorphic foliations is recognized: initial subhorizontal S1, intermediate subvertical S2, and late subhorizontal S3. A garnet±staurolite assemblage is ascribed to the S1 foliation, whereas the S2 fabric is associated with staurolite demise producing a garnet-biotite-sillimanite/andalusite assemblage. Post-S2 garnet and cordierite blastesis is followed by chlorite growth during and after the formation of the S3 foliation. Garnet porphyroblasts show a peculiar zoning pattern with a linear Mn-Ca decrease in the allanite-bearing core, an inner rim of alternating Ca-Y- and P-rich annuli, and a Ca-poor outer rim. Monazite is found as subhedral aggregates at garnet rim, and lone matrix grains close to partially resorbed garnet, staurolite or apatite. Textural observations and modelling of the garnet composition suggest that the inner rim with Ca-Y-rich annuli reflects the allanite-to-monazite transition which occurred close to the staurolite isograd. In this inner rim, a Lu oscillatory zoning pattern coincides with the zone of Ca-Y-rich annuli. Since the inner rim dominates the Lu budget of garnet, the associated Lu-Hf garnet-whole-rock isochron age of 344 ± 3 Ma is ascribed to *P-T* conditions of the staurolite isograd, i.e. ~ 5 kbar/575 °C in the S1 fabric. A subsequent temperature increase to peak conditions of ~ 5 kbar/580-625 °C in the S2 fabric is indicated by the Ca-poor garnet outer rim that reflects staurolite breakdown. LA-ICP-MS monazite dating yields ²⁰⁸Pb/²³²Th ages defining a dominant group at 313 ± 2 Ma and a secondary peak at 328 ± 2 Ma. Based on monazite textures, these relatively young ages are ascribed to fluid influx during retrograde chloritization.

The short time span between prograde garnet growth (~ 344 Ma) and existing Ar-Ar cooling ages on micas (~ 335 Ma) points to a tectono-thermal event of about 10 Ma. Assumed high heating and cooling rates during this event are explained by the synchronous intrusion of granitoid sheets. Nevertheless, monazite ages indicate that a low-grade overprint occurred more than 20 Ma after peak conditions.

キーワード: P-T-D-t path, prograde garnet zoning, retrograde monazite
Keywords: P-T-D-t path, prograde garnet zoning, retrograde monazite

肥後変成岩からのマイクロダイヤモンドを含む超高压クロミタイト Microdiamond - bearing UHP chromitite from the Higo Metamorphic Rocks, Central Kyushu, Japan

西山 忠男^{1*}; 潮崎 大¹; 恵口 響¹; 吉朝 朗¹
NISHIYAMA, Tadao^{1*}; SHIOSAKI, Dai¹; EGUCHI, Hibiki¹; YOSHIASA, Akira¹

¹ 熊本大学自然科学研究科

¹ Graduate School of Science and technology, Kumamoto University

Microdiamond-bearing ultrahigh-pressure (UHP) chromitite was newly found from a spinifex-textured metaperidotite in the Higo Metamorphic Rocks (HMR), Central Kyushu, Japan. This is the first finding of microdiamond from Japanese metamorphic rocks and the second finding in Japan following the first one from a mantle xenolith in a Cenozoic lamprophyre dyke in Shikoku¹. The HMR represents a low P/T metamorphism of Cretaceous in age, however, the precursor HP or UHP metamorphism of ca. 250Ma has been inferred². A great deal of debate has been done on whether or how the Dabie-Sulu UHP terrane extends eastward to the Korean Peninsula and also to Japan. The HMR is one of the candidates³ for the eastern extension in Japan, but no definitive evidence has been given yet.

Metaperidotites occur in two localities in the HMR: one at Yamato Town in the biotite zone and the other in Matsubase Town in the garnet-cordierite I zone⁴. The metaperidotites from Matsubase Town show distinct spinifex-texture with decimeter-sized elongated olivine (mostly serpentized) and enstatite. Those from Yamato Town shows either spinifex-texture or granular texture of finer grains (several mm to 1 cm across), and is strongly serpentized. The metaperidotite bodies occur in mostly pelitic gneisses as small lenticular bodies about several ten meters in size, which are concordant to the gneissosity. The mineral assemblage of the metaperidotite is olivine (mostly serpentized) + enstatite with secondary tremolite and antigorite. Talc occurs locally along the cleavage of enstatite. A podiform chromitite occurs in such a strongly serpentized metaperidotite at Yamato Town as a nodular form of about 10 cm in diameter, in which we found many inclusions of microdiamond 1 to 10 μm in size. We have made four thin sections, polished with colloidal silica, from one chromitite sample, and found many microdiamond inclusions in all thin sections. Microdiamonds occur both in chromite and in nickeline, and they are all monocrystalline. Many euhedral to subhedral grains (mostly 1 μm in size) of microdiamond occurs in chromite, making several lines of aligned grains. Identification of diamond was carried out with an energy dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analysis (carbon peak) and Raman spectroscopy with a He-Ne laser. We observed a Raman peak at 1333.5 cm^{-1} , which is comparable to the peak (1332 cm^{-1}) characteristic of diamond. They show no evidence of partial or total graphitization. The occurrence suggests that the striations represent healed cracks and that microdiamonds precipitated from a reduced C-O-H fluid^{5,6}. Our finding presents a convincing evidence for the hypothesis that the Higo Metamorphic Rocks is an eastern extension of the Dabie-Sulu UHP terrane in Japan. The second implication of our finding is on the nature of UHP chromitite. Microdiamonds are found from several UHP metamorphic terranes^{5,6,7}, however, microdiamond-bearing UHP chromitite has been found from ophiolites in non-UHP metamorphic terrane⁸, making the occurrence of UHP chromitite as an enigma⁹. The Higo UHP chromitite represents a deep subduction product as indicated by spinifex-texture in the host metaperidotite due to high pressure breakdown of antigorite (serpentine), instead of a product of mantle migration¹⁰. Therefore the origin of the UHP chromitite requires a specific interpretation in each case.

References

1. Mizukami, T., et al., *Geology*, 36, 219-222, 2008; 2. Osanai, Y., et al., *Gondwana Res.*, 9, 152-166, 2006; 3. Omori, S., and Isozaki, Y., *J. Geogr.*, 120, 40-51, 2011; 4. Miyazaki, K., *JMG*, 22, 793-809, 2004; 5. Liou J.G., et al., *J. Asian Earth Sci.*, 35, 199-231; 6. Dobrzhinetskaya, L.F., *Gondwana Res.*, 21, 207-223, 2012; 7. Schertle, H-P., and Sobolev, N.V., *J. Asian Earth Sci.*, 63, 5-38, 2013; 8. Yang, J-S., et al., *Geology*, 35, 875-878, 2007; 9. Arai, S., *JMPS*, 105, 280-285, 2010; 10. Yamamoto, S. et al., *Lithos*, 109, 314-322, 2009

キーワード: マイクロダイヤモンド, 超高压クロミタイト, 肥後変成岩, 超高压変成岩, スピニフェックス組織, Dabie-Sulu 超高压変成帯

Keywords: microdiamond, UHP chromitite, Higo Metamorphic Rocks, Ultrahigh-pressure metamorphic rocks, Spinifex-texture, Dabie-Sulu UHP terrane

リーゼガング変成作用におけるサイズグレーディング Grain Size Grading of Garnet in the Liesegang Metamorphism

鳥海 光弘^{1*}; 福山 繭子²
TORIUMI, Mitsuhiro^{1*}; FUKUYAMA, Mayuko²

¹ 海洋研究機構, ² 秋田大学

¹JAMSTEC, ²Akita univ.

The very puzzling phenomena is that the grain size of metamorphic garnet shows apparently gradational in both basic and pelitic schists, for bulk chemistries of large grain and small - grain layers are not different with each other and for chemical zonings of large and small grains of garnet display very similar pattern. These facts suggest that the domain structure by diffusion and growth of garnet should be formed in the layer and the spacing of the domain changes gradually across the grain - size layering in the metamorphism.

The layering shows parallel to subparallel against the schistosity plane, suggesting the parameter changes uniaxially along the normal direction against the schistosity. The length scales of the grain size layering ranges from several to several ten cm, being likely to those of the compositional banding derived from metasomatism. Judging from these facts, it seems that the size grading process in the plate boundary metamorphism is governed by the diffusion, reaction and grain growth mechanism, that is the precipitation mechanism in the Liesegang bands. The precipitation in the Liesegang band is considered as the Cahn - Hillert - Cook process (1), which is characterized by the relation of average grain size, size distribution, width of the layer, and spacing distribution among grains.

In this paper, we would like to investigate these relations of the size grading of garnet in the subduction zone metamorphism.

References

(1), A. DEWIT, 1999, Advances in Chemical Physics, Volume109, Edited by I. Prigogine and Stuart A. Rice ISBN 0-471-32920-7 0 1999 John Wiley & Sons, Inc

キーワード: 粒子サイズ, グレーディング, リーゼガング, 変成作用

Keywords: grain size, grading, Liesegang, metamorphism

Metamorphism of sodic pyroxene-bearing quartz schists from the Bizan area, Sambagawa belt, eastern Shikoku, Japan

Metamorphism of sodic pyroxene-bearing quartz schists from the Bizan area, Sambagawa belt, eastern Shikoku, Japan

KABIR, Md fazle^{1*}; TAKASU, Akira¹; KAINUMA, Masaaki¹
KABIR, Md fazle^{1*}; TAKASU, Akira¹; KAINUMA, Masaaki¹

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

The Bizan area of the Sambagawa metamorphic belt is occurs in easternmost Shikoku, southwest Japan. The Bizan and Kotsu areas are located in the same tectonostratigraphic horizon, i.e. the Kotsu Formation in eastern Shikoku. The Kotsu Formation in the Kotsu-Bizan area is structurally overlying and underlying by the Kawata Formation and the Kawatayama Formation, respectively. The main rock types in the Bizan area include pelitic, basic and siliceous schists, with minor amounts of psammitic and calcareous schists (Iwasaki, 1963). Faure (1983) suggested a melange zone containing tectonic blocks of serpentinite, metagabbro and garnet-amphibolite (garnet-glaucophane schist) occurs along a ductile shear zone between spotted and non-spotted schist zones. Sodic pyroxene-bearing quartz schists consist mainly of quartz and phengite, with minor amounts of amphibole (Fgl, Mrbk, Rbk, Mkt, Wnc, Brs, Fbrs), garnet, Na-Ca pyroxene (hereafter sodic pyroxene) (aegirine, aegirine-augite and omphacite) and albite. Hematite, chlorite, and epidote occur occasionally. A schistosity is defined by preferred orientation of phengite and quartz.

Garnets are spessartine-rich in composition, show a growth zoning with decreasing spessartine (X_{Sps} 0.82-0.35) and increasing almandine (X_{Alm} 0.01-0.41) and pyrope (X_{Prp} 0.03-0.09) from core to the rim and contain inclusions of phengite (6.84 pfu), epidote, hematite and quartz. The garnets are occasionally replaced by chlorite and biotite along cracks and at the rims. Amphiboles occurring as inclusions in porphyroblastic albite are compositionally zoned, with Fbrs and Brs cores and Rbk rims. Matrix amphiboles are Brs and Mkt core, Fgl mantle and Rbk and Mrbk rims, and contain inclusions of phengite (6.50-6.51 pfu), hematite and quartz. Sodic pyroxenes occurring as inclusions in porphyroblastic albite are aegirine, aegirine-augite and omphacite with X_{Jd} 0.08-0.37 contents. Some of them are compositionally zoned, with aegirine-augite and omphacite cores (X_{Jd} 0.34-0.37) to aegirine-augite and aegirine rims (X_{Jd} 0.34-0.21). Matrix sodic pyroxenes are aegirine-augite (X_{Jd} 0.09-0.27), decreasing X_{Jd} from cores (0.22-0.25) to the rims (0.22-0.17). Some other sodic pyroxenes in the matrix display increasing X_{Jd} from core to the mantle (0.13-0.19) and decreasing towards the rim (0.19-0.12). They contain inclusions of amphibole (Brs, Fbrs, Rbk), phengite (6.66-6.82 pfu), hematite and quartz, and are partially replaced by chlorite along their cleavages. Porphyroblastic albite crystals up to 2 mm across contain inclusions of garnet, amphibole (Brs, Fbrs, Rbk), sodic pyroxene (X_{Jd} 0.10-0.37), phengite (6.57-6.76 pfu) and quartz. Matrix phengites show relatively higher in Si (6.33-6.98 pfu) contents than inclusions.

According to the occurrence of mineral assemblage the Kwata, Kotsu and Kawatayama Formation probably correlate with the albite-biotite zone of the Besshi area (Enami *et al.*, 1994). Jadeite content in the sodic pyroxenes are significantly higher in sodic pyroxene-bearing quartz schists (X_{Jd} 0.08-0.37) than those of garnet-aegirine augite-alkali amphibole-quartz schist (X_{Jd} 0.30) in the Bizan area (Iwasaki, 1963) and Asemigawa (X_{Jd} 0.15-0.19), Besshi (X_{Jd} 0.14-0.23) and the Sarutagawa area (X_{Jd} 0.17-0.30) in the central Shikoku (Enami *et al.*, 1994). This higher jadeite content in sodic pyroxenes suggests metamorphic conditions in the Bizan sodic pyroxene-bearing quartz schists might be higher in pressure than those of the metamorphic zonation in the albite-biotite zone of the Sambagawa belt central Shikoku by Enami *et al.* (1994).

References

Enami *et al.* (1994) *Contrib Mineral Petrol*, 116, 182-198. Faure M. (1983) *J Geol Soci Japan* 89, 319-329. Iwasaki, M. (1963) *J Faculty of Science, Univ Tokyo, Section II*, 15, 1-90.

キーワード: Sambagawa (Sanbagawa) metamorphic belt, Bizan area, quartz schist, omphacite, aegirine-augite
Keywords: Sambagawa (Sanbagawa) metamorphic belt, Bizan area, quartz schist, omphacite, aegirine-augite

関東山地秩父-三波川帯への炭質物ラマン温度計の適用 Application of the Raman carbonaceous material thermometer to the Chichibu-Sanbagawa belt in the Kanto Mountains, Japan

瀨瀬 佑衣^{1*}; 清水 以知子²

KOUKETSU, Yui^{1*}; SHIMIZU, Ichiko²

¹ 東京大学大学院 理学系研究科 地殻化学実験施設, ² 東京大学大学院 理学系研究科 地球惑星科学専攻

¹Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ²Department of Earth and Planetary Science, Graduate School of Science, The University of Tokyo

中部日本から西南日本に分布する秩父帯と三波川帯の地質構造や形成過程などについては、岩相層序、放散虫年代、放射年代、変形微細構造解析、炭質物の X 線回折など様々な手法を用いて議論されている。秩父-三波川帯において、いくつかの構造不連続（ナップ境界）が報告されているが、両地質帯の位置関係や形態についてはいくつかの議論がある（Shimizu 1988, *J. Geol. Soc. Japan*; 磯崎&丸山 1991, *地学雑誌*; 平島ほか 1992, *地質学雑誌*）。また、両地質帯の温度領域をまたいで適用できる地質温度計が乏しいため、温度構造についてもまだ十分明らかになっていない。近年、岩石の最高被熱温度を炭質物のラマンスペクトルから推定する研究が活発に行われている。Kouketsu *et al.* (2014, *Island Arc*) は、岩石中に含まれる非晶質の石炭から結晶質な石墨まで、幅広い結晶化度の炭質物をラマン分光分析し、そのラマンスペクトルからピーク温度を見積もる手法を開発した。本研究では、この手法を用いて、関東山地の秩父帯と三波川帯の岩石を分析し、温度構造について議論する。

分析した試料は、関東山地の神流川・三波川・鮎川地域に分布する泥岩、砂岩、泥質片岩である。調査地域は南に秩父帯の付加コンプレックス、北に三波川帯の結晶片岩が分布しており、間に御荷鉾緑色岩類が露出している。秩父帯は構造的上位から下位に向かって、上吉田、万場、柏木ユニットの順に区分される（Shimizu & Yoshida 2004, *Island Arc*）。三波川帯は変成度の順に、緑泥石帯、ザクロ石帯、黒雲母帯に区分される（矢野&田切 1998, *地質学雑誌*）。地層は緩やかに南に傾き、変成度は構造的下位に向かって上昇する。

秩父帯で採取された泥岩、砂岩中の炭質物のラマンスペクトルは、非晶質な石炭に特徴的ないくつかのブロードなピークを含んでいた。D1-band の半値幅を用いて見積もられたピーク温度は 260-300 °C 程度であった。西御荷鉾山に近いいくつかの試料中の炭質物は 300 °C 以上の温度を示した。

三波川結晶片岩中の炭質物のラマンスペクトル強度は、秩父帯で採取された試料中の炭質物のものよりも一桁程度弱かった。非晶質な炭質物に特徴的な D4-band は観察されず、代わりに、結晶質な炭質物に特徴的な G-band が、変成度が高くなるにしたがい、他のピークよりも相対的に強くなった。変成温度は D1-band, D2-band の半値幅、及び面積比 (R2) を用いて見積もった。緑泥石帯、ザクロ石帯中、黒雲母帯中の試料はそれぞれ、360-400 °C, 420-450 °C, 460-510 °C の変成温度を示した。

炭質物を用いて見積もった温度では、秩父帯と三波川帯の間で数十°C 以上の温度ギャップが示唆される。今後はさらなる試料採取とその分析を進める予定である。

キーワード: ラマン分光法, 炭質物, 地質温度計, 秩父帯, 三波川帯, 関東山地

Keywords: Raman spectroscopy, Carbonaceous material, Geothermometer, Chichibu belt, Sanbagawa belt, Kanto Mountains

北海道神居古潭帯春志内ユニットに分布する砂質岩のジルコン FT 年代と U-Pb 年代 Fission track and U-Pb zircon ages of psammitic rocks from the Harushinai unit of the Kamuikotan belt, Hokkaido

岡本 あゆみ^{1*}; 竹下 徹¹; 岩野 英樹²; 檀原 徹²; 平田 岳史³; 西戸 裕嗣⁴

OKAMOTO, Ayumi S.^{1*}; TAKESHITA, Toru¹; IWANO, Hideki²; DANHARA, Tohru²; HIRATA, Takafumi³; NISHIDO, Hirotsugu⁴

¹北海道大学, ²(株) 京都フィッション・トラック, ³京都大学, ⁴岡山理科大学

¹Hokkaido University, ²Kyoto Fission-Track Co., Ltd., ³Kyoto University, ⁴Okayama University of Science

高圧型変成岩の上昇過程とメカニズムを議論するためには、その堆積から最大深度への沈み込み、上昇までの圧力-温度-時間履歴の正しい情報を得ることが必要である。我々は北海道神居古潭帯の春志内ユニットから砂質岩 2 試料を採取し、レーザーアブレーション誘導結合プラズマ質量分析法 (LA-ICPMS 法) を用いて試料中の碎屑性ジルコンのフィッション・トラック (FT) 年代と U-Pb 年代を見積もった。その結果、concordant ジルコン U-Pb 年代が 1980-90 Ma の間で広く変化することが明らかとなった。これらのうち最も若い U-Pb 年代集団 (約 110-90 Ma) が優勢であり、その加重平均年代は両試料ともアルビアン年代 (100.8 ± 1.1 , 99.3 ± 1.0 Ma, 2σ) を示した。分析されたジルコンは全く過成長によって形成されたリムのない火成起源の oscillatory zoning のみを示しているため、ジルコン U-Pb 年代は高圧型変成作用によってリセットされていないことが示唆される。そのため、もっとも若い U-Pb 年代年代は堆積年代の上限を示す。一方、ジルコン FT データは 100-90 Ma の単一ピーク年代を持つスペクトラを示し、これはもっとも若い U-Pb 年代集団と比較できる。この事実は、ジルコン FT 年代が激しい火成活動によって約 100 Ma に一度リセットされたものの、堆積作用以降は基本的にリセットされていないことを意味する。この筋書きは、砂質岩を構成している変形した碎屑性石英粒子中の微細構造から見積もられた、石英の脆性塑性転移 (約 300 °C, ジルコン FT の閉鎖温度) よりもわずかに低い温度条件によっても支持される。以前に報告された白雲母 K-Ar 年代と組み合わせると、春志内ユニットは 100 Ma 以降に堆積し、最大深度まで引きずり込まれた後、上昇時 (約 58 Ma) に局所的な熱イベントの影響を受けたことが推測される。

キーワード: 神居古潭変成岩, ジルコン, U-Pb 年代, フィッション・トラック年代, 変形微細構造

Keywords: Kamuikotan metamorphic rocks, zircon, U-Pb ages, Fission track ages, deformation microstructure

幌満かんらん岩のスピネルの形態変化について Shape evolution of spinel grains in the Horoman Peridotite Complex, Hokkaido

小出 聡子^{1*}; 柴田 有毅²; 道林 克禎¹
KOIDE, Satoko^{1*}; SHIBATA, Tomoki²; MICHIBAYASHI, Katsuyoshi¹

¹ 静岡大学理学研究科地球科学専攻, ² 静岡大学理学部地球科学科

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University, ²Institute of Geosciences, Shizuoka University

We present the evolution of spinel grains in the Horoman Peridotite Complex, Hokkaido. For deformation under differential stresses at high temperature conditions, both diffusion processes including diffusion creep and annealing process and dislocation creep will affect shape change of a crystal inclusion (Okamoto and Michibayashi, 2005 JGR). Grain size and grain shape are related to the shape change of the crystal with respect to given temperature and differential stress conditions. We applied this theory to spinel grains in the Horoman Peridotite Complex, Hokkaido. As a result, grain shapes of coarser spinel grains more than 100 micron are dominantly controlled by dislocation creep, whereas those of smaller spinel grains less than 100 micron are influenced by both diffusion processes and dislocation creep. Moreover, we found that grain shapes of the smaller spinel grains can be only explained by post-tectonic annealing process after their intense deformation. Our result will provide a new insight to understand the deformation processes in mantle.

Keywords: spinel, grain shape, diffusion process, dislocation creep, Horoman

天然で変形したオリビンの微細組織観察から探る超低歪速度効果の検証 Verification of ultra-low strain rate effect from microstructural observation on naturally deformed olivine

山本 貴史^{1*}; 安東 淳一¹; 大藤 弘明²; 森下 知晃³; 富岡 尚敬⁴

YAMAMOTO, Takafumi^{1*}; ANDO, Jun-ichi¹; OHFUJI, Hiroaki²; MORISHITA, Tomoaki³; TOMIOKA, Naotaka⁴

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 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター, ³ 金沢大学理工学域自然システム学類, ⁴ 岡山大学地球物質科学研究センター

¹Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, ²Geodynamics Research Center, Ehime University,

³School of Natural System, College of Science and Technology, Kanazawa University, ⁴Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University

今後上部マントルのダイナミクスを理解する上で重要になると考えられる事は、オリビン ($(\text{Mg, Fe})_2\text{SiO}_4$) の変形特性に与える超低歪速度の効果の評価と解明である。金属学では超低歪速度は、コットレル雰囲気を通じて材料強度に強い影響を与える事が知られている。Kitamura et al. (1986) と Ando et al. (2001) は、マントル起源の変形したオリビンを観察し、転位線に沿って濃集する Fe の存在を報告している。彼らは、この Fe の濃集の成因をコットレル雰囲気と解釈しているが、転位線に沿う特定元素の濃集は、変形が終了した後のパイプ拡散によっても形成され得る。従って、上部マントルにおいてコットレル雰囲気が発現しているかどうかを明らかにする為には、より詳細でかつ系統的な微細組織観察が必要となる。そこで本研究では、マントル起源の変形したオリビン中に発達する転位を観察し、1) Fe の濃集が普遍的に認められるか。そして Fe の濃集が認められた場合、2) その濃集はどのような変形条件でどのようなメカニズムで形成されたのか、という事の解明を目的に研究をすすめた。観察に用いた試料は、ゼノリスタイプ (佐賀県高島、福岡県黒瀬、秋田県目潟、ハワイオアフ島ソルトレイク) とアルパインタイプ (幌満、ウエンザル) のカンラン岩である。これらを対象として、主に電子顕微鏡を用いた微細組織観察と化学組成分析を行った。観察及び分析結果の概要を以下にまとめる。

ゼノリスタイプのカンラン岩は、等粒状組織もしくは非等粒状組織を示す。オリビンは比較的粗粒 (数百 μm ~ 数 mm) で、粒界は直線的かつ三重重点も一般的に観察される。粒内にはキックバンド様の亜結晶粒界が発達しており、波動消光はほとんど認められない。一方、アルパインタイプのカンラン岩は、比較的細粒 (数十 ~ 数百 μm) なオリビンから構成されるポーフィロクラスティック組織を呈しており、粒界は房状もしくはアメーバ状である。また波動消光が顕著に認められる。この様な微細組織の特徴と、転位のすべり系及び各種地質差応力計 (転位密度、亜結晶粒径、結晶粒径) の結果から、各カンラン岩が経た変形履歴を以下の様に示唆された。ゼノリスタイプのカンラン岩は、約 10MPa の差応力による定常クリープを経験した後に、静的回復作用を受け、更にその後、約 50MPa のパルス的な付加応力を受けた可能性が高い。一方アルパインタイプのカンラン岩の、ホロマンに関しては、低差応力場 (約 30MPa) から高差応力場 (約 100MPa) への変化が起こった事が示される。ウエンザルに関しては、亜結晶回転による動的再結晶の起こるような高温状態から、バルジング再結晶の起こる低温状態への変化があったと考えられる。

ATEM を用いた転位線近傍における化学組成分析の結果からは、全ての試料において Fe の濃集が生じている事が明らかとなった (図 1)。この Fe の濃集は、以下の理由によりコットレル雰囲気に起因すると結論付けた。パイプ拡散によるオリビン中の転位線への元素の濃集では、拡散起源流体の化学組成に依存して Fe だけでなく Mn や Ni といった複数の元素の濃集も同時に報告されている (例えば Plumper et al., 2012)。更に流体の経路である粒界に沿って Fe が濃集する可能性も考えられるが、本研究で用いた試料中にはこのような元素の濃集は全く認められなかった。

得られた結果の考察を以下にまとめる。ゼノリスタイプの試料の変形履歴は、マグマに取り込まれる際のアニーリングを受けた後、地表付近で短期間の付加応力を受けた可能性を示している。しかしこの付加応力は亜結晶粒界の生成が起こるよりもさらに短期間のパルス的な応力である。化学組成分析から、両試料において亜結晶粒界に Fe が濃集している事が確認できており、ゼノリスタイプの試料中の Fe の濃集が付加的な応力下で形成された可能性は否定できる。一方アルパインタイプの試料の変形履歴は、マントルからの上昇過程における流動変形の情報を有している。以上の理由から、今回認められた Fe の濃集は、両タイプともマントルにおける流動条件下において形成されたと考えられる。従って、コットレル雰囲気に起因したオリビン粒子中の転位への Fe の濃集は上部マントルにおいて普遍的な現象であると結論付けた。本研究結果は現在行われている変形実験においても、低歪速度環境でのコットレル雰囲気の形成に伴うオリビンの変形特性の変化を考慮する必要がある事を強く示唆している。

Ando et al. (2001) Nature, 414, 893; Kitamura et al. (1986) Proc. Japan Acad., 62, 149; Plumper et al. (2012) Contrib. Mineral. Petrol., 163, 701.

Keywords: Olivine, Cottrell atmosphere, Dislocation creep

南アフリカカーブバールクラトンリソスフェア起源粗粒かんらん岩の微細構造とメ
タゾマティズムの関係
The relationship between microstructures and metasomatism preserved within coarse gran-
ular peridotites derived from Kaap

富田 大貴^{1*}; 道林 克禎¹; 片山 郁夫²; 小宮 剛³
TOMITA, Daiki^{1*}; MICHIBAYASHI, Katsuyoshi¹; KATAYAMA, Ikuo²; KOMIYA, Tsuyoshi³

¹ 静岡大学理学研究科地球科学専攻, ² 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム学専攻, ³ 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻

¹Institute of Geosciences, Shizuoka University, ²Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University,

³Department of Earth Science & Astronomy Graduate School of Arts and Sciences The University of Tokyo

Kimberlite was generated in deep upper mantle (70-250km) beneath craton and subsequently ascended to surface rapidly. Peridotite xenoliths, which were entrained by kimberlite, record composition and texture formed in upper mantle beneath the craton. We studied coarse granular peridotites obtained from Kimberley pipe, South Africa, as they have a few studies in terms of microstructural development, presumably because of very coarser grains. We performed mineral crystal-fabric analyses of the coarse granular peridotites in order to understand the structure of the cratonic lithosphere. The peridotites consist mostly of olivine and orthopyroxene with clinopyroxene, garnet and a minor amount of spinel and phlogopite. The crystallization of clinopyroxene appears to be associated with melt metasomatism, whereas that of phlogopite could be associated with hydration metasomatism. Garnet grains occur commonly with kelyphite consisting of fine-grained orthopyroxene, clinopyroxene and spinel, indicating that these peridotites could have been uplifted above the phase boundary between garnet peridotite and spinel peridotite stability fields. Although both foliation and lineation are not commonly identified because of coarse granular texture, olivine crystal fabrics are characterized by a single maximum of [010] with single maxima or weak girdles of [100] and [001]. We found that the intensities of olivine and orthopyroxene crystal-fabrics are correlated to the modal composition of clinopyroxene and phlogopite. It suggests that the melt metasomatism weakened crystal-fabrics, whereas the hydration metasomatism intensified crystal-fabrics. As a consequence, the metasomatism could result in the development of different types of microstructures in the peridotites and may weaken the craton lithosphere.

Keywords: kimberlite, peridotite, garnet, olivine, craton, crystal-fabrics

東南極リュツォ・ホルム岩体オングル島に産するコロナの形成反応 Corona-forming reaction in the Lutzow-Holm Complex, East Antarctica at Ongul Island

島田 麻美^{1*}; 池田 剛¹
SHIMADA, Asami^{1*}; IKEDA, Takeshi¹

¹九州大学

¹Kyushu University

【はじめに】

コロナとは、ある鉱物の周囲を1種類あるいは複数種の鉱物の集合体が環状に取り囲む構造のことである。これは中心の鉱物とマトリクスの鉱物の反応によって形成されたと考えられている (Passchier and Trouw 1996)。この反応を特定することによって、コロナ形成時に岩石にどのような成分が出入りしたか、どのように温度圧力が変化したかを知ることができる。そこで本研究では、東南極リュツォ・ホルム岩体に産するコロナを対象とし、微細組織、構成鉱物の化学組成からコロナの形成反応を推定した。

【地質概説】

この岩体では、北東から南西に向かって、変成相が角閃岩相からグラニュライト相へと移り変わっている (Hiroi et al., 2006)。その中の東オングル島にはグラニュライト相の変成岩類が広く分布する。主要な岩石はザクロ石片麻岩と角閃石片麻岩である (Ishikawa et al., 1994)。ザクロ石片麻岩の中には、ザクロ石斑状変晶を含む角閃石主体の超塩基性岩が薄層として産する。このザクロ石斑状変晶の周囲にコロナが形成されている。

【微細構造】

この超塩基性岩の薄層には角閃石の多い領域と斜長石の多い領域が存在し、どちらの領域も角閃石、斜長石、褐色の黒雲母、斜方輝石から成る。ザクロ石の周囲には幅 8-15mm のコロナが発達し、主に斜長石、緑色の黒雲母から成る。マトリクスとコロナの斜長石は双晶、組成累帯構造を持つ。ザクロ石は直径約 15mm のほぼ円形で、0.5mm 程度の凹凸が発達する。ザクロ石の凹部には、界面に直交する長軸を持つ黒雲母が産する傾向がみられる。

【化学組成】

ザクロ石；コアと比べてリムで Fe が減少し、Mg が増加する。Fe+Mg,Ca 値はほぼ一定である。

斜長石；斜長石の多い領域、角閃石の多い領域、コロナ内部の順に Ca/(Ca+Na) が増加する。どの領域もコアからリムにかけて Ca/(Ca+Na) が増加する。

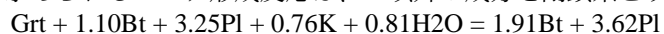
黒雲母；角閃石の多い領域、斜長石の多い領域、コロナ内部の順に Mg/(Fe+Mg) が減少し、どの領域もリムでコアよりも Al に乏しい傾向がある。

角閃石；角閃石の多い領域の方が斜長石の多い領域に比べて Al、Mg/(Fe+Mg) が高く、どちらの領域もリムでコアよりも Al に富む傾向がある。

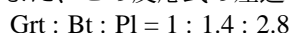
斜方輝石；領域、コア、リムによらず、組成は一定である。

【議論】

マトリクスの各鉱物のコア、リムでの組成差は成長累帯構造であるとして、それぞれの領域ごとに、リムの組成の平均値を反応式に用いた。ザクロ石とコロナ中の斜長石、黒雲母は全分析値の平均を用いた。角閃石の多い領域の平均値から求められるコロナ形成反応は、K 以外の成分を閉鎖系とする次の式で書くことができる。



一方、斜長石の多い領域の平均値を用いて反応式を求めると、ザクロ石が生成物となってしまう、これは組織と矛盾する。よって、コロナ形成には角閃石の多い領域の黒雲母と斜長石がザクロ石と反応し、その際 K の供給が必要なことがわかった。また、この反応式の左辺の鉱物のモル比を体積比に直すと



となり、ザクロ石の反応量が最も少ない。それにもかかわらずザクロ石の周囲にコロナが形成されていることから、ザクロ石からの成分の拡散が律速していたことがわかった。

キーワード: コロナ, 東南極, リュツォ・ホルム岩体
Keywords: corona, East Antarctica, Lutzow-Holm Complex

東南極セールロンダーネ山地における正断層センスを示すマイロナイト形成時およびその前後のテクトニクス Possible tectonic models before, during and after mylonitization in the Sor Rondane Mountains, East Antarctica

豊島 剛志^{1*}; 金谷 亮子¹; 小山内 康人²; 馬場 壮太郎³; 外田 智千⁴; 中野 伸彦²; 足立 達朗²
TOYOSHIMA, Tsuyoshi^{1*}; KANEYA, Akiko¹; OSANAI, Yasuhito²; BABA, Sotaro³; HOKADA, Tomokazu⁴; NAKANO, Nobuhiko²; ADACHI, Tatsuro²

¹新潟大学, ²九州大学, ³琉球大学, ⁴国立極地研究所

¹Niigata University, ²Kyusyu University, ³University of the Ryukyus, ⁴National Institute of Polar Research

The deformational history in the Sor Rondane Mountains (SRMs), eastern Dronning Maud Land (DML), East Antarctica, is divided into 13 stages (D1?D13). The tectonic regime varied frequently from extension (D3?D4) to layer-normal compression and layer-parallel extension (D5), to compression (D6), top-to-the S shearing (D7), top-to-the SE shearing and sinistral strike-slip (D8), compression (D9?D11), and ?nally extension related to dextral shearing (D12?D13). In this paper we discuss change in deformation and P-T conditions before, during and after the D7-D8 mylonitization, using mineral textures, assemblage, compositions and microstructures of D7 and D8 mylonites.

Garnet porphyroclasts of the D7-D8 mylonites include high-Ca mantles and crenulation microfolds defined by sillimanite fibrolites. The high-Ca mantles of garnets and their plagioclase inclusions in the mylonites imply an increase in pressure before the D7-D8 mylonitization. S-tectonites having a dominant planar fabric were formed before the D7-D8 mylonites and after the high-Ca mantles of the garnets. The planar fabric (foliation) of the S-tectonites is produced by fan-shaped arrangement of sillimanite and biotite grains. The sillimanite and biotite grains were formed by breakdown of garnet. Most of the sillimanite and biotite grains have been rotated and folded by the D7-D8 mylonitization. The D7-D8 mylonite foliations are parallel to the planar fabric of the S-tectonites. The S-tectonites indicate a flattening type of strain and resulted from the layer-normal shortening after the increase in pressure and before the D7-D8 mylonitization. kyanite-quartz porphyroblasts and randomly oriented crystals of sillimanite/kyanite and biotite were formed after the D7-D8 mylonitization. The randomly oriented crystals of sillimanite/kyanite and biotite resulted from the breakdown of garnet porphyroclasts of the D7-D8 mylonites. The kyanite-quartz porphyroblasts accompany leucogranite veins cutting the D7-D8 mylonite foliations. The randomly oriented crystals and porphyroblasts imply non-deformational conditions after the D7-D8 mylonitization and D9 folding.

Three possible tectonic models for D7 and D8 mylonite-forming events before the D9 deformation can be considered as follows: extensional tectonic model, positive flower structure model and rotated mylonite model. In the former model, D7 and D8 indicate major extensional tectonic activity in the southern part of the East African and Antarctic Orogen (EAAO) before the Pan-African compressional event, and after the 650-600 Ma peak of metamorphism. In the latter two models, D7 and D8 mylonites may have resulted from the compressional events. In the positive flower structure model, the SRMs are the southern half of the E-trending positive flower structure. The flower structure model needs top-to-the N shear zones to the north of the SRMs. In the rotated mylonite model, the present S-dip of the D7 and D8 mylonites results from the rotation and folding of originally N-dipping reverse (top-to-the S-SE, normal-sinistral shear, present day coordinates) mylonites. The Pan-African compressional event resulted in the formation of upright folds with horizontal axes that curve along the coastline in central to eastern DML during the D9 deformation that took place between 600 and 560 Ma. The coastline-parallel fold axes and subvertical axial-planes correspond to the X-axes and the XY-planes, respectively, of strain ellipsoids that were progressively rotated counterclockwise toward the central parts of a sinistral shear zone. Therefore, the curved fold axes and axial-planes suggest the EAAO acted as a zone of sinistral transpression during the collision of parts of East and West Gondwana.

キーワード: S-テクトナイト, 押しつぶし, マイロナイト化作用, セールロンダーネ山地, ゴンドワナ, 東南極
Keywords: S-tectonite, flattening, mylonitization, Sor Rondane Mountains, Gondwana, East Antarctica

複数段階の塩素に富む流体活動の意義—東南極セール・ロンダーネ山地の例 Significance of multi-stage chloride brine activity- An example from Sor Rondane Mountains, East Antarctica

東野 文子^{1*}; 河上 哲生¹; 土屋 範芳²; Madhusoodhan Satish-Kumar³; 石川 正弘⁴; Grantham Geoffrey H.⁵
HIGASHINO, Fumiko^{1*}; KAWAKAMI, Tetsuo¹; TSUCHIYA, Noriyoshi²; MADHUSOODHAN, Satish-kumar³; ISHIKAWA, Masahiro⁴; GRANTHAM, Geoffrey H.⁵

¹ 京都大学, ² 東北大学, ³ 新潟大学, ⁴ 横浜国立大学, ⁵ 南アフリカ地質調査所

¹Kyoto University, ²Tohoku University, ³Niigata University, ⁴Yokohama National University, ⁵Council for Geoscience, South Africa

It has been gradually recognized chloride brine potentially plays an important role in large-scale mass transfer during high-grade metamorphism without partial melting. This is because brine is a powerful solvent, can coexist with CO₂-rich fluid under the granulite facies conditions and has low-H₂O activity (Newton & Manning, 2010; Heinrich et al., 2004). In natural observation, evidence for the presence of brine is often found as fluid inclusions. In metamorphic rocks under granulite facies conditions, however, brine inclusions are only rarely found (Markl & Bucher, 1998). This is partly because brines have a high mobility due to their low viscosity and low wetting angle (Watson & Brenan, 1987; Holness, 1997).

On the other hand, hydrous minerals such as biotite (Bt), hornblende (Hb) and apatite can record the f_{H_2O}/f_{HCl} of the last equilibrated Cl-rich fluid as their mineral compositions. In order to understand the metamorphic fluid activity using these minerals, *P-T* condition under which these minerals equilibrated with a fluid as well as the crystallographic requirements for these minerals to record the fluid composition should be known (e.g., Makino, 2000). However, there still are a lot of unsolved issues about brines, for example, cations transported in the fluid, *P-T* condition and areal scale of brine activity, and its origin (Newton et al., 1998).

In order to understand the multiple brine activities and the cation composition in brines, two meta-mafic gneisses are studied in detail in Brattnipene, Sør Rondane Mountains (SRM), East Antarctica.

In a Grt-Bt-Hb gneiss, Cl-rich Bt is exclusively included in garnet (Grt). Bt, Hb, and cummingtonite (Cum) in the matrix are Cl-poor. These compositional differences imply that Bt included in the Grt formed under the presence of chloride brine and Cl-poor fluid infiltrated after Grt formation. Grt is enveloped by the gneissosity defined by the arrangement of Cum overgrown by Hb, and Bt. Therefore, chloride brine activity predated or was simultaneous with the penetrative gneissosity formation in this area. After considering the effect of Mg-Cl avoidance rule and compositional change during retrogression, the geothermobarometry (Holdaway, 2000; Wu et al., 2004) gave $650 < T < 800$ °C and 0.96 GPa for the peak *P-T* condition of this sample. The Cl-rich Bt entrapment was probably predated or simultaneous with the attainment of this *P-T* condition.

In a Grt-Opx-Hb gneiss, ca. 1cm-thick Grt-Hb vein cut the penetrative gneissosity in this area. Cl-content of Hb and Bt, and K-content of Hb decrease with the distance from the vein center and become constant at ca. 1.6 cm from the vein center. Plagioclase present next to the vein has a core (An₅₅) and mantle (An₆₈) which is sharply overgrown by Na-richer rim (An₅₁). Plagioclase in the vein is An₅₁ without zoning, and development of Na-richer rim gets thinner with a distance from the vein. Therefore, the Grt-Hb vein was probably formed by NaCl-KCl brine infiltration. This is also supported by the isocon analysis of whole-rock chemistry determined for wall rock of the vein. *P-T* condition of the vein formation is estimated as 720 °C and 0.70 GPa (Holdaway, 2000; Wu et al., 2004).

P-T conditions of multi-stage chloride brine activity, cation composition of the brine, and outcrop-scale pathways of the brine are constrained in SRM from these two gneisses. From the pelitic gneisses in SRM, Cl-rich fluid or melt activity with a linear distribution over 200 km has been reported (Higashino et al., 2013). Additionally, this study revealed that the brine activity in SRM is not controlled by the lithology or specific deformational stages. It is clear that chloride brine in SRM was not a result of *in situ* fractionation through the selective consumption of H₂O in the fluid (Kullerud, 1995), but substantial amount of brine was actually moving, and was playing an important role in mass transfer.

キーワード: NaCl-KCl brine, 流体流入, 大陸衝突帯, セール・ロンダーネ山地

Keywords: NaCl-KCl brine, fluid infiltration, continental collision zone, Sor Rondane Mountains

ガーネット形成反応の律速過程と非平衡度 Rate-limiting process and degree of disequilibrium of garnet-forming reaction

宮崎 一博^{1*}
MIYAZAKI, Kazuhiro^{1*}

¹産総研 地質情報研究部門
¹GSJ AIST

変成岩中の脱水反応により生じた水は岩石のレオロジーや流体を介した物質移動、反応の進行そのものに大きな影響を及ぼす。そのような脱水反応の進行律速過程は、界面反応、拡散、及び熱流の3つに分類される。ガーネットは変成岩の脱水反応により生じる代表的な生成鉱物の1つである。その律速過程は、拡散律速を仮定する 경우가多いが、実際には、ガーネットが拡散律速成長を行った直接的な証拠が提示されるケースはほとんど存在しない。さらに、拡散律速成長における非平衡度が見積もられた例もほとんど存在しない。以下では、筑波変成岩に見いだされた拡散律速成長を示唆するガーネットを記載し、成長時の非平衡度を見積もったので報告する。

今回見いだした変成岩中のガーネット生成反応は黒雲母 + 珪線石 + 石英 = ガーネット + 堇青石 + カリ長石 + 水の反応である。ガーネットの周囲には、黒雲母枯渇領域が認められる。拡散律速反応で期待される反応物の枯渇領域が凍結されたものと予想される。一方、この変成岩中のガーネットは、界面が著しく凸凹に富む特異な形態でも特徴づけられる。このような構造は、拡散律速成長時の成長界面の不安定化 (Mullins & Sekerka, 1963) で生じると期待される。このように、記載したガーネットは、拡散律速成長で期待される組織構造を有している。

拡散律速成長の界面の形態は、拡散勾配の強さか来る不安定化を起こす強さと、界面エネルギーによる不安定化の抑制とのせめぎ合いで決まる。界面エネルギーを仮定することで、球面調和関数を用いた解析から、系の過飽和度に応じた成長界面の卓越波長を見積もることができる。筑波変成岩中のガーネットの画像解析から求めた卓越波長より系の過飽和度を求めると、0.1以下となった。ガーネット形成反応から反応のエントロピー変化を見積もり、過飽和度を非平衡温度 ΔT に換算すると、 $\Delta T=5$ °C以下である。今回の見積もりは、非平衡の度合いの大きな拡散律速成長が普遍的におこっていることに対し、疑問を投げかける。一般に変成岩中で観察されるガーネットの形態は、今回取り上げた筑波変成岩のガーネットに比べ界面の凹凸は遙かに少なく球形に近い、あるいは自形に近いものが多い。今回の結果は、そのようなガーネットが、平衡に非常に近い状態でのゆっくりした拡散律速成長か、もしくは流体の流入を伴う界面律速型の成長で形成された可能性を示唆している。

キーワード: ガーネット, 脱水反応, 非平衡, 変成作用, 変成岩, 変成反応

Keywords: garnet, dehydration reaction, disequilibrium, metamorphism, metamorphic rock, metamorphic reaction

領家変成岩中に見られる流体起源の珪線石脈について FLUID RELATED ORIGIN OF SILLIMANITE VEINS IN POLYMETAMORPHIC ROCKS FROM THE RYOKE BELT, JAPAN

天野 早織^{1*}; 河上 哲生¹
AMANO, Saori^{1*}; KAWAKAMI, Tetsuo¹

¹ 京都大学理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

複変成地域の熱構造の発達過程を理解するためには、それぞれの変成作用を識別することが必要不可欠である。こうした研究には、例えば広域変成作用とその後の花崗岩の貫入による接触変成作用を識別する研究が存在するが(たとえば、Miyake et al., 1992; Kawakami and Suzuki, 2011) 複変成時の流体の挙動に注目した研究は多くはない。Johnson et al. (2003) は、接触変成帯の変成岩中に存在する針状の珪線石(フィブロライト)から成る脈を報告し、それが流体起源であると議論している。

京都府笠置地域には、砂岩泥岩起源の片岩や片麻岩などの領家変成岩が広く露出している。新期領家花崗岩が変成岩に非調和的に貫入しているため、変成岩には広域変成作用と新期領家花崗岩による熱的影響(Ozaki et al., 2000)や花崗岩起源の流体活動による影響が重複して記録されている。泥質な変成岩中に珪線石が存在することによって定義される珪線石帯も複変成の影響を受けているが(Ozaki et al., 2000)、珪線石の成因については細かく考察されていない。

笠置地域では、フィブロライトの集合体が広域変成作用によって生じた片麻状構造を切る産状がよく見られ、こうした珪線石が広域変成作用起源であると考えるのは難しいように思われる。本研究では、砂質片麻岩中に貫入した花崗岩から派生している珪線石脈の産状を紹介し、流体起源の珪線石について議論する。

珪線石脈を含む砂質片麻岩の試料は、珪線石帯中に貫入する領家花崗岩との接触部付近から採取した。当該試料中では、花崗岩が片麻面に非調和的に貫入し、片麻状構造にほぼ平行な珪線石脈が生じている。珪線石脈はフィブロライトとそれを置換する後退変成作用で生じた白雲母から成る。脈直近の石英は、脈から離れたマトリクス中の石英よりも粗粒であり、フィブロライト結晶を包有する。石英中に包有されるフィブロライト結晶量は珪線石脈から離れるほど少なくなる。フィブロライトは主に脈か石英中に存在している。また、斜長石は砂質マトリクス中には多数存在するが、珪線石脈中は周辺にはほとんど存在しない。後退変成作用によって珪線石を置換した細粒な白雲母(元・珪線石)がマトリクスの結晶粒界に沿って存在する。カリ長石は試料中には存在しないが、片麻状構造を切っている後退変成作用起源の白雲母がマトリクス中に豊富に存在する。

カソードルミネッセンス(CL)像による微細構造の観察から、石英の発光強度が珪線石脈からの距離に応じて変化することが明らかになった。特に、石英単結晶中であっても、より多くのフィブロライトを包有している部分の方がCL像では暗い。これは、フィブロライトを包有するCL像が暗い石英部分は、フィブロライトを包有せずCL像で明るく見える部分と起源が異なる可能性を示唆する。CL像が暗い部分は、フィブロライト形成時に同時に成長した部分であると考えられる。こうした微細構造の観察から、珪線石脈は領家花崗岩から放出された流体によって形成されたと考えられる。

岩石中の既存鉱物と流入流体中の水素イオンとの反応によるフィブロライトの形成についてはVernon(1979)が議論している。さらに、ケイ酸塩鉱物と酸性水溶液との反応により、 Al_2SiO_5 鉱物と白雲母が生成することが実験的に示されている(Burnham, 1967)。

本研究で紹介した試料中では、フィブロライトが脈や石英結晶中に存在し、石英に包有されているフィブロライトや斜長石の量が脈からの距離に応じて変化している。こうした観察事実から、花崗岩からの流体が脈状に流入して砂質マトリクスと反応し、斜長石を溶解しつつ、より粗粒な石英とそれに包有されているフィブロライトを同時に形成した可能性がある。このような斜長石の溶解と珪線石の形成は、石英共存下の3kbar、600℃程度の温度圧力条件で、アルカリ元素濃度に比して水素イオン濃度の高い流体が流入したと考えると可能であることがSUPCRT92(Johnson et al. 1992)を用いた熱力学計算によりわかった。したがって、本研究で紹介した珪線石脈を形成しているフィブロライトは広域変成起源ではなく、領家花崗岩による接触変成作用時の流体起源であると考えられる。

キーワード: 珪線石(フィブロライト), 領家帯, 流体起源, 複変成作用

Keywords: fibrous sillimanite, Ryoike belt, fluid-related origin, polymetamorphism