

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 $^{208}\text{Pb}/^{232}\text{Th}$ 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 serpentinized) 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 serpentinized. 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 serpentinized) + enstatite with secondary tremolite and antigorite. Talc occurs locally along the cleavage of enstatite. A podiform chromitite occurs in such a strongly serpentinized 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 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

纈纈 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。粒内にはキン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。

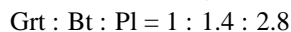
斜方輝石；領域、コア、リムによらず、組成は一定である。

【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

肥後変成岩および西彼杵変成岩に産する超高压クロミタイトの比較 Comparison of UHP chromitites from the Higo and Nishisonogi Metamorphic Rocks, Kyushu, Japan.

潮崎 大^{1*}; 森部 陽介¹; 恵口 響¹; 西山 忠男¹
SHIOSAKI, Dai^{1*}; MORIBE, Yosuke¹; EGUCHI, Hibiki¹; NISHIYAMA, Tadao¹

¹ 熊本大学大学院自然科学研究科理学専攻地球環境科学コース

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

We have found microdiamond - bearing ultrahigh-pressure (UHP) chromitites from two metamorphic terranes in Kyushu: the Higo (HMR)¹ and Nishisonogi (NMR)² Metamorphic Rocks. This paper describes the similarity and difference between the two UHP chromitites. The HMR are located in west-central Kyushu with an E-W trend. They have undergone low P /T metamorphism, however, precursor HP or UHP metamorphism of ca. 250 Ma has been inferred³. The protoliths have affinity to continental shelf deposits⁴, consisting mainly of pelitic gneisses and meta-carbonates with minor metabasites and metaperidotites (partly serpentinite). Chromitite occurs very rarely as a nodular form in serpentinitized metaperidotites which shows spinifex-texture. The NMR is located in western Kyushu with a N-S trend. They have undergone high P /T metamorphism of epidote-blueschist subfacies. They consists mainly of pelitic and psammitic schists with minor basic schists and serpentinites, some of which show a character of serpentinite melange⁵. Detrital zircon from the pelitic schists show the age of 89-86 Ma⁶, whereas zircon from jadeitites in a serpentinite melange does 136 -126 Ma in the core and 84 - 80 Ma in the rim^{7,8}. Chromitite occurs as a deformed schlieren-like layer in serpentinite with no relic minerals. The P-T condition of the HMR has been estimated to be 200 - 600 MPa and 600 - 800 °C^{3,9,10,11,12,13}. Higher pressure and temperature conditions are reported from the following two samples: a sapphirine-bearing granulite^{3,10} as a tectonic block in the spinifex-textured metaperidotite (900 MPa and 950 °C) and a calc-silicate granulite¹³ (900 MPa and 820 °C) intercalating with garnet - biotite gneiss. We newly estimated the peak P-T condition of Al-spinel and chlorite -bearing metaperidotite as 2.0 GPa and 780 - 990 °C. In the case of the NMR, the peak metamorphic condition of the crystalline schists is 1.4 GPa and 520 °C for a garnet galucophanite¹⁴. Jadeitites¹⁵ as tectonic blocks in the serpentinite melange shows the peak condition of 1.5 GPa and 500 °C. Chromite from the HMR has the composition $(\text{Mg}_{0.34}\text{Fe}^{2+}_{0.75}\text{Mn}_{0.02})(\text{Cr}_{0.81}\text{Al}_{0.06}\text{Fe}^{3+}_{0.04}\text{Si}_{0.05})_2\text{O}_4$, whereas that from the NMR has similar composition $(\text{Mg}_{0.33}\text{Fe}^{2+}_{0.65}\text{Mn}_{0.03})(\text{Cr}_{0.84}\text{Al}_{0.12}\text{Fe}^{3+}_{0.04})_2\text{O}_4$ in the core and Fe-rich composition $(\text{Mg}_{0.06}\text{Fe}^{2+}_{0.89}\text{Zn}_{0.02}\text{Mn}_{0.03})(\text{Cr}_{0.85}\text{Al}_{0.12}\text{Fe}^{3+}_{0.04})_2\text{O}_4$ in the rim. Microdiamonds occur as *in situ* inclusions in chromite in both chromitites. They are 1 to 10 μm in size in HMR chromite, and those in NMR chromite is much smaller, mostly <1 μm with small number of larger grains. In both chromitites microdiamonds occur in some cases as numerous aligned grains, making diamond - rich zones. Both microdiamonds are identified with Raman spectra. HMR microdiamonds show a broad peak at 1333 cm⁻¹. NMR microdiamond, also shows a broad peak at 1331 cm⁻¹ with graphite peak at around 1600 cm⁻¹, suggesting partial graphitization. Both UHP chromitites will be deep subduction origin. HMR can be an eastern extension of the Dabie-Sulu UHP terrane in China, however, NMR is more problematic. No corresponding UHP terrane of ca. 80Ma is found around Kyushu. Our findings of UHP chromitites require reexamination of micro-tectonics in Kyushu, a peculiar location of an arc-arc junction at the continental margin.

References 1:Nishiyama et al., JpGU Meeting, S-MP46, 2014; 2: Nishiyama et al., JpGU Meeting, S-CG08, 2014; 3: Osanai, et al., Gondwana Res., 9, 152-166, 2006; 4: Omori and Isozaki, J.Geogr., 120, 40-51, 2011; 5: Nishiyama, Mem. Geol. Soc. Japan, 33, 237-257, 1989; 6: Kouchi, Y., J. Geogr., 120, 30-39, 2011; 7: Mori, et al., JMG, 29, 673-684, 2011; 8: Yui, et al., EJM., 24, 263-275, 2011; 9: Obata et al., Lithos, 32, 135-147, 1994; 10: Osanai et al., JMG., 16, 53-66, 1998; 11: Maki et al., JMPS, 99, 1-18, 2004; 12: Miyazaki, JMG., 22, 793-809, 2004; 13: Maki et al., JMG., 27, 107-124, 2009; 14: Moribe, Mc thesis, Kumamoto U.; 15: Shigeno et al., EJM, 24, 289-311, 2012

キーワード: マイクロダイヤモンド, クロミタイト, 超高压, 肥後変成岩, 西彼杵変成岩, 沈み込み

Keywords: microdiamond, chromitite, UHP, Higo metamorphic rocks, Nishisonogi metamorphic rocks, subduction

三波川変成帯別子地域より見いだされたザクロ石 Mn カルデラ型累帯構造の立体的
記載とその成因
3D imaging of the Mn-caldera shaped zoning of the garnet found from the Sanbagawa
metamorphic belt and its origin.

吉田 健太^{1*}; 平島 崇男¹
YOSHIDA, Kenta^{1*}; HIRAJIMA, Takao¹

¹ 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻
¹ Graduate School of Science, Kyoto University

Garnets with a complex compositional zoning were found from the northern proximal area of the Western Iratsu body of the Sanbagawa metamorphic belt of the Besshi district, southwest Japan. The studied garnet shows incipient Mn-reverse (increasing) zoning part (defined as core) and subsequent Mn-bell shape (decreasing) zoning part (defined as mantle), which is almost identical to the “Mn-caldera shaped zoning” described by Banno et al. (2004) in the Asemigawa region of the central Shikoku. In order to describe the chemical characteristic sterically, X-ray chemical mapping were performed by each 0.2-0.3 mm depth step, for one very-coarse-grained garnet with ca. 11 mm in diameter. The result clearly shows that the core/mantle boundary has the highest Mn content with euhedral shape, and that the chemical composition continuously changes through the grain. Internal schistosity defined by sigmoidal inclusion arrays cross-cuts the core/mantle boundary. This fact also suggests the continuous growth of garnet from the central part to the outer part. In the same sample, garnets with Mn-bell shape type zoning are also observed, which are relatively fine-grained up to 5 mm. Raman barometry and thermodynamic modeling suggest the climax *P-T* conditions of the studied sample did not reach the eclogite facies, which are consistent with the conditions of the oligoclase-biotite zone of the Sanbagawa metamorphic belt (610 °C and 1.0 GPa, Enami, 1994).

Contrary to the simple Mn-bell shape type zoning which grown up with progressive regional metamorphism, “Mn-caldera shaped zoning” could be generated from the crystal nucleation under oversaturated environment (Matsumoto and Kitamura, 2004). Such oversaturation is expected in a rapid increase of temperature. Recently, Aoya et al. (2013) proposed the eclogite nappe covering the large part of the Besshi district. However, the exact boundary between the eclogite nappe and lower grade surrounding rocks is still under the debate. The conjunction of the eclogite nappe and the lower-grade surrounding rocks are thought to have taken place near the peak metamorphic stage of the surrounding rocks (500-600 °C and ca. 1 GPa, Aoya et al., 2013). Mn-caldera shaped zoning garnet found in the Besshi district (this study; Xu et al., 1994) are both found from the northern proximal of the hypothesized eclogite nappe. Those Mn-caldera shaped zonings are possibly originated from the conjunction of the eclogite nappe and surrounding crystalline schist, and corresponding rapid heating. Such features of garnet can help to determine the boundary of the eclogite nappe in the Besshi district.

キーワード: ザクロ石, 三波川変成帯, 組成累帯構造, 非平衡結晶成長

Keywords: garnet, Sanbagawa metamorphic belt, compositional zoning, disequilibrium crystal growth

モンゴル・アルタイ地域の温度・圧力経路と変成年代の広域的解析 Widespread analyses of pressure-temperature trajectory and timing in the Altai Range, Mongolia

中野 伸彦^{1*}; 小山内 康人¹; 大和田 正明²; Satish-Kumar M.³; 足立 達朗¹; Jargalan Sereenen⁴; 吉本 紋¹; Kundyz Syeryekhan⁴; Boldbaatar Chimedtseie⁵
NAKANO, Nobuhiko^{1*}; OSANAI, Yasuhito¹; OWADA, Masaaki²; SATISH-KUMAR, M.³; ADACHI, Tatsuro¹; JARGALAN, Sereenen⁴; YOSHIMOTO, Aya¹; KUNDYZ, Syeryekhan⁴; BOLDBAATAR, Chimedtseie⁵

¹九州大学, ²山口大学, ³新潟大学, ⁴モンゴル科学技術大学, ⁵Mongolian Exploration Partners, LLC

¹Kyushu University, ²Yamaguchi University, ³Niigata University, ⁴Mongolian University of Science and Technology, ⁵Mongolian Exploration Partners, LLC

This study performed large-scale petrographical and geochronological investigation in the Altai Range, Mongolia distributed in the Central Asian Orogenic Belt, which is the typical subduction-accretion-collision orogeny on the Earth. Based on the petrographical observation, clockwise and anti-clockwise pressure-temperature trajectories were identified in whole of the studied area (400 km long). U-Th-Pb monazite dating yields c. 350 Ma and c. 260 Ma. Samples with clockwise pressure-temperature path, containing kyanite in garnet and sillimanite in the matrix, commonly have c. 350 Ma monazite in garnet and c. 260 Ma monazite in the matrix. In contrast, samples with anti-clockwise pressure-temperature path containing sillimanite in garnet and kyanite in the matrix have monazites showing (i) c. 350 Ma both in garnet and the matrix, (ii) c. 260 Ma both in garnet and the matrix, and (iii) c. 350 Ma in garnet and c. 260 Ma in the matrix. Ca zoning pattern in garnet shows either continuous or discontinuous zoning. Samples containing single monazite age cluster (either c. 350 Ma or c. 260 Ma) have continuously zoned garnet, in which samples with anti-clockwise pressure-temperature trajectory at both periods show Ca zoning increasing from core to rim or mantle, whereas some samples with unknown pressure-temperature path at both periods show opposite zoning. These features strongly suggest both clockwise and anti-clockwise evolutions occurred at both periods. Discontinuous Ca zoning in garnet is observed in samples that contain c. 350 Ma monazite inclusions in garnet and c. 260 Ma monazite grains in the matrix, and the zoning patterns show a decrease in Ca at the rim for samples with clockwise paths and an increase in Ca at the rim for those with counterclockwise paths. In some cases, c. 350 Ma monazite grains are included in the large garnet cores but c. 260 Ma monazite grains are found in the garnet rims as well as in the matrix. These rocks might be metamorphosed at c. 350 Ma, whereas they did not exhumate to the surface and have remained deep crustal level. Subsequent compression and decompression event formed garnet rim and monazite at c. 260 Ma, which should be caused by same tectonic regime to clockwise and anti-clockwise pressure-temperature path at the period. The presence of the regional-scale clockwise and anti-clockwise trajectories and their repetition during less than 100 My have never reported from any other orogenic belts in the world. Further studies may allow to realize the complex tectonic evolution of the Altai Range.

キーワード: 温度・圧力履歴, モナザイト U-Th-Pb 年代, アルタイ山脈, モンゴル, 中央アジア造山帯

Keywords: P-T trajectory, U-Th-Pb monazite age, Altai Mountains, Mongolia, Central Asian Orogenic Belt

スリランカの arrested チャーノックイト形成時のモード組成の時間変化 Temporal change of modal abundance of minerals during formation of arrested charnockite from Sri Lanka

山崎 由貴子^{1*}; 池田 剛¹; 本吉 洋一²; 廣井 美邦³; プレーム バーナード⁴
YAMASAKI, Yukiko^{1*}; IKEDA, Takeshi¹; MOTOYOSHI, Yoichi²; HIROI, Yoshikuni³; PRAME, Bernard⁴

¹九州大学, ²国立極地研究所, ³千葉大学, ⁴スリランカ地質調査所

¹Kyushu University, ²National Institute of Polar Research, ³Chiba University, ⁴Geological Survey of Sri Lanka

スリランカ中央部には、普通角閃石-黒雲母片麻岩中に数十 cm スケールで局所的にチャーノックイトが産している。このようなタイプのチャーノックイトは arrested チャーノックイトと言われる。このタイプのチャーノックイトの成因としては、局所的な H₂O 濃度の減少や酸素フュガシティーの減少が提案されている。これらはいずれも外部からの流体の流入や部分熔融によって引き起こされると考えられている (例えば Newton et al., 1980; Hiroi et al., 1990; Burton and O' Nions, 1990; Ravindra Kumar, 2004; Endo et al., 2012)。しかしチャーノックイト化に伴う鉱物の変化の時間的、空間的な発展については未だよくわかっていない。本研究では鉱物のモード変化を記載することにより、それらについて議論した。

片麻岩とチャーノックイトは、いずれも優白質部と優黒質部の層状構造を示し、両岩石の層状構造はほぼ連続する。優黒質部には片麻岩中では主に普通角閃石と黒雲母が存在し、チャーノックイト中にはそれらの鉱物と斜方輝石が存在する。優白質部には主に黒雲母と無色鉱物が産する。ただしチャーノックイト中の優白質部では黒雲母はほとんど存在しない。優黒質部のモードは、片麻岩中では系統的な変化は見られない。チャーノックイトに入ると普通角閃石は激減し、黒雲母は漸減、斜方輝石は緩やかに増加する。優白質部の黒雲母のモードは、片麻岩中でチャーノックイトへ向かって減少する。

斜方輝石は優黒質部の黒雲母と普通角閃石の分解が始める場所から出現し、優白質部の黒雲母の分解はそこよりも片麻岩側から生じている。従って優白質部の黒雲母の分解によって放出された元素は、優黒質部の黒雲母と普通角閃石が分解した場所まで移動し、そこで斜方輝石を生成したと考えられる。このことから普通角閃石の分解が先行し、それによって核形成した斜方輝石を成長させるよう、優白質部で分解した黒雲母の元素が移動した可能性が示唆される。同一鉱物間でありながら黒雲母の分解の場所が違うのは、優白質部の方が優黒質部よりも鉄に富んだ黒雲母が存在していることに起因すると考えられる。

Reference

- Burton K. W. and O' Nions R. K., The timescale and mechanism of granulite formation at Kurunegala, Sri Lanka, *Contrib. Mineral. Petrol.* 106, 66-89 (1990)
- Endo et al., Phase equilibrium modeling of incipient charnockite formation in NKCFMASHTO and MnNCKFMASHTO systems: A case study from Rajapalayam, Madurai Block, southern India, *Geoscience Frontiers* 3, 801-811 (2012)
- Hiroi Y. et al., Arrested charnockite formation in Sri Lanka: Field and petrographical evidence for low-pressure conditions, *Proc. NIPR Symp. Antarct. Geosci.* 4, 213-230 (1990)
- Newton R. C. et al., Carbonic metamorphism, granulites and crustal growth, *Nature* 288, 45-50 (1980)
- Ravindra Kumar G. R., Mechanism of arrested charnockite formation at Nemmara, Palghat region, southern India, *Lithos* 75, 331-358 (2004)

キーワード: スリランカ, チャーノックイト, 普通角閃石-黒雲母片麻岩, 鉱物モード組成

Keywords: Sri Lanka, Charnockite, Hornblende-biotite gneiss, modal abundance

沈み込み帯の温度構造と水の循環—東北日本と西南日本の比較 Thermal structure and water transportation in subduction zones: a comparison between NE and SW Japan

石井 和彦^{1*}; 奥野 将史¹
ISHII, Kazuhiko^{1*}; OKUNO, Masashi¹

¹ 大阪府立大学大学院理学系研究科
¹ Graduate School of Sciences, Osaka Prefecture University

東北日本では古い太平洋プレートが高速で沈み込み、西南日本では若いフィリピン海プレートが低速で沈み込んでい
る。この沈み込み条件の違いは、東北日本の方が西南日本より島弧火山活動が活発でプレート境界地震の下限が深いこ
と、さらに西南日本のプレート境界で深部低周波微動が観測されていることなどに表れている。このような特徴から、東
北日本と西南日本は、しばしば暖かい沈み込み帯と冷たい沈み込み帯の典型的な例として比較検討されている。本研究
では、この2つの沈み込み帯の温度構造のほか、流体移動など沈み込み帯での物理的・化学的過程について、数値モデル
を用いて検討した。この数値モデルでは、スラブの脱水、マントルウェッジの加水・脱水、マントルウェッジの部分溶
融、メルトと H₂O 流体の移動、温度・含水量・部分溶融度に依存したかんらん岩の流動則を考慮しており、スラブ年齢
や速度などの沈み込み条件が、諸過程とくに水の輸送を通してどのように両地域の地震・火山活動に影響するのにかつ
いて議論する。

キーワード: 沈み込み帯, 東北日本と西南日本
Keywords: subduction zones, NE Japan nad SW Japan

花崗岩体貫入時のマイクロブーディン構造形成中の応力一歪の関係：東ピルバラ、Mt.Edger 花崗岩複合岩体の場合
Stress and strain history during the microboudinage for granite intrusion: Mt. Edger granite complex, East Pilbara

松村 太郎次郎^{1*}; 木村 希生²; 岡本 敦³; 増田 俊明²
MATUMURA, Taroujirou^{1*}; KIMURA, Nozomi²; OKAMOTO, Atsushi³; MASUDA, Toshiaki²

¹ 静岡大学創造科学技術大学院, ² 静岡大学理学部, ³ 東北大学大学院環境科学研究科
¹Graduate school of science and Technology, Shizuoka University, ²Institute of Geoscience, Shizuoka University, ³Graduate school of Environmental studies, Tohoku University

Stress and strain analysis is essential to improving the understanding of deformation process. Microboudinaged columnar minerals can be used as an indicator of stress and strain during the microboudinage for quartzose and calcareous metamorphic tectonites. In this presentation, we discuss the stress and strain history during the microboudinage deduced by the microboudin method with a collaboration of the strain reversal method.

We collected samples of metachert from the Archean Warrawoona greenstone belt around Mt. Edger granite complex, East Pilbara, Western Australia, and identified microboudinaged tourmaline grains embedded within quartz matrix in 10 samples. The result revealed that the samples experienced extensional strain at least -0.56 and differential stress in the range from 3.9 to 11.9 MPa. We obtained stress-strain curves which show increase in differential stress with increasing inverse natural strain (ϵ_{inv}). The frequency distribution of interboudine gaps between separated grains with respect to ϵ_{inv} for boudinaged tourmaline grains shows that end of microboudinage occurred immediately after the peak frequency of fracturing. This occurrence commonly appeared in all the 10 samples. These results provided us with keys to discuss a stress-strain history during the microboudinage in relation to evolution of the granite complex. The spectacular implication would be a drop or relaxation in increased differential stress at the end of the microboudinage.

キーワード: マイクロブーディン構造, 応力, 歪, 花崗岩複合岩体, 始生代
Keywords: microboudin structure, stress, strain, granite complex, Archean

鉱物分解反応による拡散累帯構造形成の時間スケール Time scale for formation of diffusion zoning in response to breakdown reaction

池田 剛^{1*}
IKEDA, Takeshi^{1*}

¹九州大学
¹Kyushu University

高変成度の変成岩中のザクロ石は Mn や Fe が周縁部で増加する累帯構造を示すことが多い。この累帯構造は後退変成作用時のザクロ石分解反応に伴う拡散によってできたと考えられている。この累帯構造の幅は、結晶内部への拡散距離と、分解による界面移動距離によって記述される。本研究では、予察的にこれらの距離を時間と界面移動速度の関数として表現した。この式を用いると、いくつかの変成帯にみられる幅 0.04?0.1mm の累帯構造の形成時間が 1?数百万年と見積もられた。累帯構造形成中に界面が局所平衡を保った試料に適用すれば、冷却速度を見積もることができる可能性がある。

キーワード: 拡散累帯構造, 継続時間, 冷却速度
Keywords: diffusion zoning, duration time, cooling rate

四国における始新統および中新統中の結晶片岩礫の統合的な放射年代測定 Integrated radiometric dating of schist clasts from the Eocene and Miocene conglomerates in Shikoku

飯塚 亮太^{1*}; 高木 秀雄¹; 本田 恵美¹; 岩野 英樹²; 石田 章純³; 佐野 有司³
IIZUKA, Ryota^{1*}; TAKAGI, Hideo¹; HONDA, Emi¹; IWANO, Hideki²; ISHIDA, Akizumi³; SANO, Yuji³

¹ 早稲田大学, ² ㈱京都フィッション・トラック, ³ 東京大学大気海洋研究所
¹Waseda University, ²Kyoto Fission-Track Co. Ltd., ³AORI, the University of Tokyo

三波川変成帯が削剥レベルに達した年代, すなわち三波川変成岩礫を含む地層の年代は, 礫そのものの放射年代とともに, 三波川変成岩の上昇履歴を考察する上で重要な制約条件を与える. 筆者らは, 四国の古第三系と新第三系に含まれる三波川帯由来と考えられている結晶片岩礫を対象とし, その統合的な放射年代測定を実施してきた. その地層は, 中新世 (17Ma 前後) であることが明らかにされている久万層群の基底部の古岩屋層と, 始新世の渦鞭毛藻化石が報告されているひわだ峠層 (成田ほか, 1999) である. さらに, 山崎ほか (1995) により始新世の放散虫化石が報告されている, 四国四万十帯大山岬層も対象とした. すでに, 筆者らはひわだ峠層と古岩屋層の結晶片岩礫について, K-Ar 年代およびフィッション・トラック年代 (以下, FT 年代) を報告した (高木・向坂, 2012; 高木ほか, 2013).

そこで, 今回新たに K-Ar 年代および FT 年代測定に用いたひわだ峠層と古岩屋層の礫を対象として, 東大大気海洋研の NanoSIMS 50 を用いてジルコンの U-Pb 年代を測定した. 今回分析したジルコンは砕屑性ジルコンと考えられることから, 最も若いジルコンの U-Pb 年代は, 結晶片岩の原岩の堆積年代に近似できる. 未だ予察的段階であることから, 最も若いピークの年代値を用いると, 3 試料とも 110 Ma 前後という結果となった. 年代値の詳細は, 発表時に報告する予定である.

大山岬層中の砂質片岩礫 2 試料から得られたジルコンの FT 年代は, 67.3 ± 9.0 Ma, 68.4 ± 8.2 Ma という値が得られた. 今回得られた値は, 吉倉ほか (1991) により報告されているフェンジャイトの K-Ar 年代 (78.2~71.4Ma) に比べ, やや若いものの誤差範囲で一致した. また, 大山岬層中に白亜紀後期を示す放散虫の報告 (平ほか, 1980) もあったが, ジルコンの FT 年代を見る限り, 古第三紀である可能性が高く, 山崎ほか (1995) に示された放散虫年代と調和的である.

これらの結果 (Table 1) より, ひわだ峠層と大山岬層中のフェンジャイトの K-Ar 年代とジルコンの FT 年代は誤差範囲で一致しているため, 両者の年代差が明瞭な中新世久万層群中の礫に比べて, それらの上昇速度は速かったものと想定される.

文献

- 成田ほか, 1999, 地質雑, 105, 305-308.
平ほか, 1980, 四万十帯の地質学と古生物学, 249-264.
高木・向坂, 2012, 日本地質学会第 119 年学術大会演旨, p.93
高木ほか, 2013, 日本地質学会第 120 年学術大会演旨, p.49.
山崎ほか, 1995, 愛媛大学教育学部紀要, 15, 31-36.
吉倉ほか, 1991, 日本地質学会第 98 年学術大会, p.434.

キーワード: 三波川帯, 結晶片岩, 放射年代測定
Keywords: Sanbagawa belt, schist, radiometric dating

SMP46-P08

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

Table1. Phengite K-Ar and zircon fission track ages of schist clasts from the Miocene and Eocene strata in Shikoku.

Series	Formation Name	Sample	Phengite K-Ar age (Ma)	Zircon FT age (Ma)
Miocene	Kuma Group Furuiwaya Formation	32204-2 psamm.sch.	81.5 ± 1.3	68.7 ± 6.0
		112101-2 pel.sch.	83.5 ± 1.3	64.9 ± 5.8
Eocene	Hiwadatoge Formation	2003-8 psamm.sch.	86.8 ± 1.3	85.2 ± 7.7
	Oyamamisaki Formation	1-B psamm.sch.	78.2 - 71.4	67.3 ± 9.0
		1-F psamm.sch.	(Yoshikura et al., 1991)	68.4 ± 8.2

黒瀬川帯に産するペルム紀後期の冷たい沈み込みシステムにおける PrP 相-LBS 相への
の変成過程
The metamorphic evolution from PrP to LBS facies in a late Paleozoic cold subduction
system in Kurosegawa belt

佐藤 永太郎^{1*}; 平島 崇男¹
SATO, Eitaro^{1*}; HIRAJIMA, Takao¹

¹ 京都大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Kyoto University

Introduction: Recent progress of thermal modeling and thermodynamic calculation can help the general understanding of the thermal structure of subducting plate and the total movement of H₂O stored in high-pressure type metamorphic rocks from the trench to the upper mantle depth in various subduction settings (e.g., Peacock & Wang, 1999; Hacker et al., 2003). For example, Peacock (2009) indicated that the oceanic plate in the Philippine Sea plate subducting below the Kii Peninsula would suffer the cold HP/LT type metamorphism represented by zeolite facies, prehnite-pumpellyite facies, pumpellyite-actinolite facies, lawsonite-blueschist facies to jadeite-lawsonite-blueschist to 2GPa. However, the natural example recording abovementioned progressive metamorphic evolution has not been recognized yet.

Recently prehnite-pumpellyite facies and lawsonite-blueschist facies units have been recognized in the Otao unit of Kurosegawa belt in Yatsushiro area, Kyushu, Japan (Kamimura et al., 2012). However, the relationship of two metamorphic units has not been verified yet.

In this paper, we propose the progressive change of metamorphic grade from the prehnite-pumpellyite facies to lawsonite-blueschist facies based on petrography and thermodynamic phase analysis in metabasite system.

Petrography and Mineralogy: We confirmed that the prehnite-pumpellyite facies assemblage is predominant in the Tobiishi subunit of (Kamimura et al., 2012), but we newly found pumpellyite-actinolite facies from the western end of this subunit.

In the lawsonite-blueschist facies unit, Hakoishi-subunit of (Kamimura et al., 2012), located to the west of the Tobiishi-subunit, following mineral assemblage with excess chlorite, quartz, albite and phengite are systematically distributed from the east to the west in the subunit:

lawsonite + pumpellyite + aegirine-augite, pumpellyite + Na-amphibole, lawsonite + pumpellyite + Na-amphibole, lawsonite + Na-amphibole + aegirine-augite.

The compositions of sodic pyroxene, pumpellyite and Na-amphibole also show the following systematic trend westwards in the subunit; jadeite component of sodic pyroxene generally increases from X_{Jd}=0.12 to X_{Jd}=0.50 with X_{Aeg}= up to 0.5. Al content of pumpellyite increases from 3.7 to 4.6 p.f.u. for O=24.5 Fe₃₊/(Al+Fe₃₊) in Na-amphibole decreases from 0.8 (riebeckite) to 0.15 (glaucophane).

Thermodynamic phase analysis: To evaluate stability relationship among abovementioned mineral assemblages, the phase diagram was constructed in the NCFMASH system with PERPLE_X software package (Connolly, 2005) for 1-10 kbar and 100-400 °C. The considered minerals are stilbite, laumontite, prehnite, pumpellyite, ferro pumpellyite, tremolite, ferro tremolite, diopside, hednbergite, clinocllore, daphnite, lawsonite, glaucophane, ferro glaucophane, clinzoisite and albite with excess, quartz and water. As the first order approximation, solid solution in each mineral was ignored. The newly constructed phase diagram predicts following representative mineral assemblages appear with the increase of the pressure along the high HP/LT path.

lawsonite + pumpellyite + clinopyroxene, pumpellyite + glaucophane, lawsonite + pumpellyite + glaucophane, lawsonite + glaucophane + clinopyroxene.

This metamorphic evolution in the model system is coincident well with the natural observation in the Hakoishi subunits.

Conclusion: Mineral assemblages observed in metabasites of the Tobiishi and Hakoishi subunits and the newly constructed petrogenetic grid suggest the metamorphic grade increases from prehnite-pumpellyite facies to lawsonite-blueschist facies westward ca. 20km in the Otao unit of Kurosegawa belt. The westward increase of Al content in pumpellyite, Na-amphibole, and Na-clinopyroxene also suggest the metamorphic grade increases westward. Thus, this area would become a type locality of a cold subduction system as proposed by the Peacock (2009)'s thermal modeling.

キーワード: ローソン石, 青色片岩, 低温高压変成岩, 黒瀬川帯, 岩石成因論的グリッド, 冷たい沈み込みシステム

SMP46-P09

会場:3 階ポスター会場

時間:4 月 28 日 18:15-19:30

Keywords: lawsonite, blueschist, HP/LT type metamorphic rocks, Kurosegawa belt, petrogenetic grid, cold subduction system

高温変成作用によるジルコンの形態変化 - 高温低圧型領家変成帯木曾地域を例に - Morphological change of zircon under high temperature metamorphism: Example of the Kiso Ryoke metamorphic rocks

猪川 千晶^{1*}; 本吉 洋一²; 外田 智千²; 堀江 憲治²
IKAWA, Chiaki^{1*}; MOTOYOSHI, Yoichi²; HOKADA, Tomokazu²; HORIE, Kenji²

¹ 総合研究大学院大学極域科学専攻, ² 国立極地研究所

¹ Department of Polar Science, the Graduate University for Advanced Studies, ² National Institute of Polar Research

ジルコンは岩石の年代を求める上での重要な鉱物である。しかし、ジルコンは変成作用の様々なステージで成長、あるいは再結晶し、それぞれのタイミングの U-Pb 年代を記録している筈である。変成作用の各ステージでどのようにジルコンが成長するのか、まだ十分には分かっていない。Williams (2001) は、オーストラリア Cooma 岩体において、変成度の違いによるジルコンの形態変化について検討し、変成度の低い岩石中では碎屑性ジルコンが保持され、変成度の高い岩石で新しくジルコンが形成あるいはオーバーグロースしていることを示した。Kawakami et al (2013) では、片岩からミグマタイトに遷移する領家帯青山地域の上部角閃岩相からグラニュライト相でのジルコンの形態変化を調べた。そこで、ジルコンの再結晶にはメルトが関与しているとしている。このように、ジルコンは変成度により形態が異なる。そのため、ジルコンの年代値を解釈する上で、変成作用によるジルコンの形態変化を調べることは重要である。

そこで、本研究では、非変成（美濃帯）からミグマタイト帯までほぼ連続的に変成度の変化が見られる中部地方領家帯木曾地域において、変成度ごとのジルコンの形態変化を調べた。領家帯木曾地域は中央アルプス木曾駒ヶ岳の北東に位置する、南北約 43km、東西約 22km の地域である。この地域は、広域変成岩（変成堆積岩・石英片岩・塩基性片岩・炭酸塩岩など）と非変成岩が広く出現し、白亜紀中期に変成作用を受けたとされている。Morikiyo (1984) は、鉱物組み合わせにより 9 つのゾーン（I から VII）に分類した。

本研究では、ゾーン I からゾーン VII までの全域から合計 46 のサンプルを採取した。顕微鏡観察を行った結果、鉱物組み合わせは以下ようになっていた：ゾーン II で黒雲母出現、ゾーン IIIa でアルバイト消滅、ゾーン IIIb で緑泥石消滅、ゾーン VIa で珪線石出現。

SEM と光学顕微鏡でのジルコン観察に基づき、ジルコンの形態をゾーン I-II、ゾーン IIIa-V、ゾーン VIa-VII の 3 つのグループに分類した。

ゾーン I-II: 光学顕微鏡下では様々な色（紫、淡いピンク、無色）や大きさ（40-220 μm）のものが認められ、またそれらは明瞭な自形面を示す。また、SEM による観察では結晶表面に摩耗の跡やひびが観察される。このような特徴から、おそらく広い範囲から供給された碎屑性由来のジルコンであると考えられる。

ゾーン IIIa-V: このゾーンのジルコン結晶表面は溶けたような穴があき、ざらざらしているものが多い。ゾーン I-II とは異なり、面全体がざらざらしており、ひびは見られない。これは、変成作用を受けて溶解あるいは再結晶したためと考えられる。しかし、1 つの粒子において、すべての表面が溶けているとは限らず、溶けていない結晶面を保持する部分も存在する。この溶けていない面は、ゾーン I-II と同じ碎屑性の結晶面かゾーン VIa-VII と同様にさらに変成作用を受けて再結晶がすすんでなめらかになったものと考えられる。また、BSE 観察では新しいジルコン結晶の成長はほとんど見られないが、一部に例外的に新しい成長がみられるものもある。新しく成長したジルコンは比較的小さく約 30 μm である。

ゾーン VIa-VII: ゾーン IIIa-V と異なり、溶けているようなざらざらはなく、表面はなめらかである。しかし、表面にはゆるやかな凹凸があり、IIIa-V のでこぼこの面がなめらかに固まったようである。変成作用によってジルコン結晶の成長に伴って、ゾーン IIIa-V で見られるようなでこぼこの面の外側に結晶がオーバーグロースしたものではないかと考えられる。一番温度の高いゾーン VII では、表面の凹凸がほとんど見られず、なめらかなジルコン結晶が発達する。

このように、木曾地域領家帯変成岩中のジルコンは、低変成ゾーンに卓越する碎屑性ジルコンから、変成度の上昇に伴って表面がざらざらとした外形を持つジルコンとなり、さらに高成度になるとざらざらの面がなめらかな面になっていくという変化がみられた。また、新しいジルコンの成長も観察できる、という結果が得られた。

キーワード: ジルコン形態, 広域変成作用, 領家帯

Keywords: zircon morphology, regional metamorphism, Ryoke belt

東南極セール・ロンダーネ山地、メーフィエル地域に産する泥質変成岩のザクロ石の正累帯構造 P-T estimates of a metapelite containing garnet zoning from Mefjell, Sr Rondane Mountain, East Antarctica

坪川 祐美子^{1*}; 石川 正弘¹; 市来 孝志¹; 河上 哲生²; M. サティシュ・クマール³; 土屋 範芳⁴; ジェフ グランサム⁵
TSUBOKAWA, Yumiko^{1*}; ISHIKAWA, Masahiro¹; ICHIKI, Takashi¹; KAWAKAMI, Tetsuo²; MADHUSOODHAN, Satishkumar³; TSUCHIYA, Noriyoshi⁴; GEOFF, Grantham⁵

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

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

東南極セール・ロンダーネ山地は東西 Gondwana 大陸の衝突帯内部に位置していたと考えられ (Jacobs et al., 2003), Gondwana 超大陸の集合過程を解析するための鍵となる地域として注目されてきた。同地域は角閃岩相~グラニュライト相の高度変成岩類およびそれらに貫入する火成岩類から構成され (Osanai et al., 2013), 約 640-600Ma と約 550-500Ma において主な変成作用を被っている (e.g. Shiraiishi et al., 2008)。近年, 各地域での詳細な変成温度-圧力-時間履歴の再検討が行われると, バルヒェン山やアウストカンパーネ北部からは時計回りの経路が報告される一方で (e.g. Nakano et al., 2011), ブラットニーパネやメニーパ東部からは反時計回りの経路が見つかり (e.g. Adachi et al., 2013), 地域ごとに異なる変成経路を経ていることが明らかになった。しかしながら, メーフィエル地域を含む山地南西部においては, ピーク変成条件に達する以前の温度-圧力経路についてこれまで十分な証拠が得られていない。

この度, 同山地メーフィエル北西部に産する泥質変成岩から, 正の組成累帯構造を保持するザクロ石が見つかったので報告する。本研究では, この十字石を含むザクロ石-珪線石-黒雲母片麻岩を記載し, ザクロ石中の包有物鉱物を用いて地質温度圧力計を適用しザクロ石の変成条件を見積もった。用いた地質温度圧力計はザクロ石-イルメナイト地質温度計 (Pownceby et al., 1987), ザクロ石-十字石地質温度計 (Fed'kin & Yakovleva, 1993) およびザクロ石-アルミノ珪酸塩鉱物-石英-斜長石圧力計 (Spear et al., 1993) である。

この泥質変成岩は主としてザクロ石, 黒雲母, 珪線石, 石英, 斜長石で構成され, 少量のカリ長石, 十字石, 燐灰石, モナズ石, イルメナイト, 磁鉄鉱を含む。正の累帯構造を示すザクロ石は直径約 12mm の巨大な斑状変晶として存在し, 肉眼では中心部は赤桃色, 縁部は淡桃色を示す。ザクロ石の化学組成は典型的な Alm 成分に富む組成を示し, Fe, Mg, Mn, Ca による組成累帯構造が見られた。このうち累帯構造が最も顕著に認められた Sps 成分は, 肉眼で赤桃色を示す中心部で高く, 淡桃色の周辺部で低い。したがってこの部分をコア部とリム部の境界とした。この区分に従うと, ザクロ石はコア部 (Alm₆₇Sps₁₅Prp₁₂Grs₆) からリム部 (Alm₇₄Sps₂Prp₂₀Grs₄) にかけて, Alm 成分と Prp 成分の増加および Sps 成分の減少が見られ, Grs 成分は全体として一様に低い。リム部では最外縁部 (Alm₇₃Sps₁₁Prp₂₀Grs₆) に向かって再び Sps 成分が増加する。ザクロ石の包有物には十字石, 珪線石, 黒雲母, 緑泥石, 斜長石, カリ長石, 石英, 燐灰石, イルメナイト, およびそれらの複数鉱物からなる集合体が見られる。ただし, コア部の珪線石は極微細な複数集合体になっており, 周囲のザクロ石には弱い放射状クラックが発達している。こうした珪線石は藍晶石から転移したものかもしれない。

ザクロ石のコア部からリム部にかけて包有されるイルメナイトの組成を用いて見積もった変成温度条件は, コア部において約 350-400 °C, リム部において約 650-700 °C であった。コア部における見積もりの結果は, Pownceby et al. (1991) の地質温度計作成時の実験条件 (温度 600-1000 °C) より低く単純に比較することはできないが, 温度計の誤差 ±50 °C を考慮してもザクロ石のコア部からリム部に向かって温度が増加する傾向が保存されている。また, リム部に包有される十字石の組成から見積もった変成温度条件は約 630-700 °C を示し, 同じくリム部に包有される斜長石の組成を用いて見積もった変成圧力条件は温度 650 °C のときに約 7.2kbar であった。温度計の誤差から推定される圧力計の誤差は ±0.9kbar である。したがって本試料中のザクロ石は, コア部からリム部にかけて約 350-400 °C から約 630-700 °C, 約 7.2±0.9kbar への温度上昇に伴い成長したことが示唆される。

キーワード: 東南極, セール・ロンダーネ山地, 温度圧力条件

Keywords: East Antarctica, Sør Rondane Mountain, pressure and temperature conditions

東ネパール MCT ゾーンにおける変成同時の流体流入と優白質花崗岩の成因論 Syn-metamorphic fluid infiltration and petrogenesis of leucogranites in the MCT zone in Eastern Nepal

河上 哲生^{1*}; 酒井 治孝¹; 佐藤 活志¹
KAWAKAMI, Tetsuo^{1*}; SAKAI, Harutaka¹; SATO, Katsushi¹

¹ 京都大学大学院理学研究科
¹ Graduate School of Science, Kyoto University

大陸衝突帯における変成作用同時の流体活動は、優白質花崗岩の成因や流体・メルトを介した物質移動の観点から非常に重要である。電気石は大陸地殻に普通に産出する、広い安定領域を持つ副成分鉱物であり [1]、泥質変成岩中の重要なホウ素の貯蔵庫鉱物である [2, 3, 4]。貯蔵庫鉱物の存在しない環境下では、ホウ素はインコンパティブルに振る舞い、流体に入って移動する。しかし温度-圧力-組成条件が整うと、電気石や他のホウ珪酸塩鉱物として岩石-流体相互作用の場で固定される。従って、電気石はホウ素を含む流体のトレーサーに適している [4]。電気石は極性結晶であるので、それぞれの極が異なる陽イオン濃度をもち、その極性は 650 °C 程度まで存在する。従って、電気石の異なる極間の元素分配は地質温度計として用いることが出来る [2, 5]。

私たちは、ネパール東部ダンクッタ周辺の MCT ゾーンにおける石英脈と電気石脈の産状を調査した。本地域には泥質片岩が広く分布し、ドロマイト岩やコーツァイト、マフィック岩が挟在する。変成度は藍晶石帯から十字石帯、ザクロ石帯へと、南に向かって MCT からの距離が増加するほど低くなる。泥質片岩には石英脈が多産するが、MCT の活動に伴う南フェルゲンツの延性変形を受けてレンズ状の形状を示す。藍晶石帯では石英脈中に mm から cm サイズの藍晶石が、少量の斜長石とともに含まれる。ザクロ石と藍晶石は石英脈の直近でのみ粗粒であり、藍晶石は石英脈の周囲にのみ産する傾向がある。このことは、石英脈を形成した流体の活動が、藍晶石帯の変成ピーク前後に起き、Si、Al、Na、Ca が流体中に含まれ運搬されていたことを示す。この流体活動の温度圧力条件は Grt-Ky-Pl-Bt-Qtz 組み合わせを用い、約 8kbar、600 °C と暫定的に見積もられた。十字石帯やザクロ石帯においても同様に、石英脈の直近でザクロ石が粗粒化する。従って、このような石英脈は、変成作用の昇温期ならびにピーク変成時に、各変成分帯に対し、系外から流入した流体の証拠である。

MCT ゾーンの泥質片岩中には、局所的に非常に大量の電気石が産することがある。こうした電気石は、白雲母に富むアルミナスな層に選択的に産するが、これは外部からのホウ素の流入に伴い、電気石の形成に適した全岩組成の層に電気石が形成されたものと考えられる。昇温変成を示す組成累帯構造をもつザクロ石中に大量の電気石が包有されることから、このような含ホウ素流体の流入は昇温変成期から起きていたと考えられる。さらに、片理面を切って貫入する電気石脈が存在することから、ピーク変成以降も含ホウ素流体の流入は続いた。電気石の極間の Ca/Na 分配 [5] から、電気石脈の形成温度は約 530-590 °C と推定される。このような流体の起源は、各変成分帯の構造的な下位に存在する、より低変成度の変堆積岩類かもしれない。なぜなら、こうした変堆積岩中での脱水反応により、水だけでなくホウ素も供給可能だからである。

MCT ゾーンにおける、昇温変成期から変成ピーク直後までにおよぶ含ホウ素流体の流入は、形成場や成因論に関する議論が続くハイヒマラヤやテチスヒマラヤの優白質花崗岩の成因 [6] にとって重要であり、本研究の観察は流体存在下での溶融 [7] を支持する。MCT 直上のハイヒマラヤのミグマタイト中に産する含電気石優白質花崗岩脈は、こうした含ホウ素流体流入に伴う、MCT 近辺での溶融の産物かもしれない。

引用文献： [1] van Hinsberg et al, 2011, *Can Min*, 49, 1-16. [2] Henry & Dutrow, 1996, *Rev Min*, 33, 503-557. [3] Sperlich et al, 1996, *Am Min*, 81, 1222-1236. [4] Kawakami, 2004, *TRSE*, 95, 111-123. [5] van Hinsberg & Schumacher, 2007, *CMP*, 153, 289-301. [6] Guo & Wilson, 2012, *GR*, 22, 360-376. [7] Le Fort, 1981, *JGR*, 86, 10545-10568.

キーワード: 流体, 電気石, ホウ素, 逆転変成作用, 部分溶融, 大陸衝突帯

Keywords: fluid, tourmaline, boron, inverted metamorphism, partial melting, continental collision zone

マダガスカル共和国中央東部マサラ岩体, アンタナナリボ岩体, ベツィミサラカ岩体に産する変成岩の年代学的特徴 Geochronology of the metamorphic rocks from the Masora, Antananarivo and Betsimisaraka domains, east-central Madagascar

市来 孝志^{1*}; 石川 正弘¹; 小山内 康人²; 中野 伸彦²; 足立 達朗²
ICHIKI, Takashi^{1*}; ISHIKAWA, Masahiro¹; OSANAI, Yasuhito²; NAKANO, Nobuhiko²; ADACHI, Tatsuro²

¹ 横浜国立大学 環境情報, ² 九州大学 比較社会文化
¹Yokohama National University, ²Kyushu University

マダガスカル共和国は Gondwana 超大陸の復元図においてその中央部に位置する (e.g. Jacobs and Thomas, 2004). そのため Gondwana 超大陸の形成プロセスを理解する上で重要な地域の一つである. しかしながら, マダガスカル共和国の位置する Gondwana 超大陸中央部が, 北部と同様に若い島弧地殻の衝突縫合によって形成したのか (Stern, 1994), あるいは古い大陸地殻の再変動を被ったのか議論の余地がある (e.g. Collins and Pisarevsky, 2005; Collins, 2006; Tucker et al., 2012). そこで本研究では, マダガスカル共和国中央東部を構成する地質体の年代学的特徴を明らかにするために, 変成火成岩についてジルコンの LA-ICP-MS U-Pb 法を用いて原岩の形成年代を推定し, 変成堆積岩についてモナズ石の EPMA U-Th-Pb 法を用いて変成年代を推定した.

マダガスカル共和国中央東部は地質と年代に基づき, 東からマサラ岩体, ベツィミサラカ岩体およびアンタナナリボ岩体に区分される (Collins, 2006; Tucker et al., 2011). マサラ岩体は主に珪長質変成岩から構成され, 少量の変成堆積岩を含む. 2 種類の変成堆積岩中のモナズ石から約 5.2-5.1 億年前の年代が得られる. この年代は U-Pb ジルコン法により変成花崗岩質岩から得られている約 5.3-5.1 億年前の変成年代 (Smith et al., 2008) と珪岩について得られている約 5.4-5.2 億年前の変成年代 (De Waele et al., 2011) とほぼ一致する. また珪長質変成岩は約 33 億年前の火成活動年代を示す. これはミグマタイト化した珪長質片麻岩から U-Pb ジルコン法により得られている約 33 億年前の年代 (Tucker et al., 2011b) と一致する.

アンタナナリボ岩体は主に珪長質変成岩から構成され, 少量の変成堆積岩を含む. アンタナナリボ岩体は変成温度圧力条件と地質構造により東部と西部に区分される. 岩体東部は西部と変成度の勾配に沿って, 低角の正断層センスを示す塑性剪断帯によって境される. 岩体東部に産する変成堆積岩中のモナズ石からは約 5.0-4.8 億年前の年代が得られる. また西部に産する 2 種類の変成堆積岩中のモナズ石からは約 5.4-5.0 億年前 (Martelat et al., 2000) と約 6.3-5.4 億年前 (Jöns and Schenk, 2011) の変成年代が報告されており, また変成花崗岩中のモナズ石からは約 5.6-5.4 億年前 (Grégoire et al., 2009) の変成年代が報告されている. したがって, 岩体東部の変成年代は西部よりもやや若い年代である. 珪長質変成岩は地球化学的に 2 種類の異なる特徴を示す. 岩体東部に産するものからは約 27 億年前の年代が, 岩体西部に産するものからは約 7.6 億年前の火成活動年代を示すものが得られる. 中性変成岩は岩体西部に産しており, U-Pb ジルコン法に基づき約 5.5 億年前の火成活動年代を示す.

ベツィミサラカ岩体は主に変成堆積岩で構成される. 変成堆積岩中のモナズ石から約 5.0 億年前の年代が得られる. これは U-Pb ジルコン法に基づき珪岩より報告されている約 5.5-5.2 億年前の変成年代 (Tucker et al., 2011) と, 変成堆積岩中のジルコン粒子のリムより報告されている約 5.5 億年前の変成年代 (Collins et al., 2003) よりも若い年代である.

これらの結果から, マダガスカル共和国中央東部は約 5.5-5.0 億年前に変成作用を被っている. その中でアンタナナリボ岩体東部とベツィミサラカ岩体はこれらの中で最も若い約 5.0 億年前の変成作用を被っている. またアンタナナリボ岩体ではこれまで最も古い火成活動年代は約 25 億年前と考えられてきた (e.g. Kröner et al., 2000). 岩体東部にて見いだされた約 27 億年前の火成活動年代は同岩体中における新しい報告であり, 報告されている中で最も古い火成活動年代である. これらのことからアンタナナリボ岩体東部は西部よりも古い年代を示す地域であり, さらにアンタナナリボ岩体の中でも特に古い地質体であると考えられる. したがって, マサラ岩体, ベツィミサラカ岩体とアンタナナリボ岩体西部との間に, 年代の遷移する地質体が存在する可能性が高い. このような地質体の関係は, 近年インド南部太古代クラトンにより報告されており (Peucat et al., 2013), 太古代からのインドとマダガスカル連続性を検討する上で重要な証拠となると考えられる.

キーワード: Gondwana 超大陸, マダガスカル中央東部, LA-ICP-MS U-Pb ジルコン年代, EPMA モナズ石年代

Keywords: Gondwana supercontinent, east-central Madagascar, LA-ICP-MS U-Pb zircon dating, EPMA monazite dating

カミラ角閃岩マイロナイトの変形微細構造とその形成温度 Deformation microstructures of a Kamila amphibolite mylonite and their formative temperatures

新井 智之^{1*}; 金川 久一¹; 芳野 極²
ARAI, Tomoyuki^{1*}; KANAGAWA, Kyuichi¹; YOSHINO, Takashi²

¹ 千葉大学大学院理学研究科, ² 岡山大学地球物質科学研究センター

¹Graduate School of Science, Chiba University, ²Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University

パキスタン北部に分布するコヒスタン複合岩体は白亜紀の島弧地殻起源と考えられており、カミラ角閃岩体はその下部地殻を構成していたと考えられている。ここでは、カミラ角閃岩起源のマイロナイト試料の変形微細構造とその形成温度について報告する。

解析したカミラ角閃岩マイロナイト試料は、層厚 100 μm ~1 mm の、ホルンブレンド+輝石層、斜長石層、およびホルンブレンド+斜長石+石英層の組成層構造を示し、層厚約 3 mm のざくろ石+石英+斜長石層が挟在している。この試料には、組成層構造により規定される C 面構造、C 面に時計回りに斜交したレンズ状斜長石粒子集合体により規定される S 面構造、および C 面に反時計回りに低角に斜交する C' 面構造の、複合面構造が発達しており、これらの複合面構造は上盤南方移動の剪断センスを示す。

ホルンブレンド+輝石層は主として粒径 30 μm 程度のホルンブレンドから成り、輝石は粒径 200 μm 程度のポーフィロクラストとして散在している。ホルンブレンドには、(100) が面構造に平行で [001] が線構造に平行に配列する、結晶方位配列が発達している。斜方輝石ポーフィロクラストは面構造に平行な方向へ伸長し、上盤南方移動の剪断センスを示す、主として細粒ホルンブレンドから成る非対称のテイルを伴っている。また、輝石ポーフィロクラスト周囲には粒径 10 μm 程度の細粒なホルンブレンドと石英が分布しており、輝石の分解反応 (斜方輝石+単斜輝石+ H_2O =ホルンブレンド+石英) を示唆している。この反応はグラニュライト相から角閃岩相への後退変成反応を意味する。

斜長石層は粒径 100 μm 程度の動的再結晶斜長石粒子 (An_{47-54}) から成る。レンズ状に伸長した領域は、元は斜長石ポーフィロクラストであったと考えられる。斜長石粒子は多角形状の粒子が多いが、やや伸長した粒子が面構造に対して時計回りに斜交する、弱い斜交面構造を呈している。この斜交面構造も上盤南方移動の剪断センスを示す。また斜長石には、{131} と <1-12> がそれぞれ面構造と線構造に対して時計回りに約 20° 斜交する、結晶方位配列が発達している。斜長石の {131} および <1-12> の配列方向は S 面構造とほぼ平行になっており、動的再結晶時のすべり系 {131}<1-12> の卓越を示唆している。

斜方輝石と単斜輝石のポーフィロクラストの化学組成に輝石温度計を適用したところ、850 °C 前後の温度が得られた。また、圧力 800 MPa を仮定してホルンブレンド+斜長石+石英層中のホルンブレンドと斜長石の化学組成にホルンブレンド-斜長石温度計を適用したところ、約 610 °C の温度が得られた。従って、本研究で解析したカミラ角閃岩マイロナイトは、850 °C 前後のグラニュライト相の変成作用後に、約 610 °C の温度で角閃岩相の後退変成作用を受けると同時に、上盤南方移動センスの剪断変形を受けたと考えられる。

黒瀬川帯に分布する蛇紋岩中の変成岩および火成岩ブロックの形成テクトニクス The tectonics evolution of metamorphic and igneous rocks embedded in the serpentinite melange from the Kurosegawa Tecton

吉本 紋^{1*}; 小山内 康人¹; 中野 伸彦¹; 足立 達朗¹; 北野 一平¹; 米村 和紘²; 石塚 英男³
YOSHIMOTO, Aya^{1*}; OSANAI, Yasuhito¹; NAKANO, Nobuhiko¹; ADACHI, Tatsuro¹; KITANO, Ippei¹; YONEMURA, Kazuhiro²; ISHIZUKA, Hideo³

¹九州大・比文, ²JOGMEC, ³高知大
¹Kyushu Univ., ²JOGMEC, ³Kochi Univ.

黒瀬川帯の蛇紋岩メランジ中に産する多様な岩石ブロックについて、産状観察、岩石記載、全岩化学組成分析、ジルコン U-Pb 同位体年代測定を実施し、黒瀬川帯の岩石学的特徴を統括した。また、これらの解析結果を基に、黒瀬川帯の形成プロセスについて考察を行った。

高圧変成岩

高圧変成岩は、藍閃石とローソン石の鉱物組み合わせで特徴づけられ、極細粒な藍閃石が片理を形成する青色片岩と粗粒な普通角閃石や斜長石の周囲に藍閃石が形成される高圧型変ハンレイ岩に分類される。また、青色片岩は海洋地殻上に存在した様々な OIB や MORB などの玄武岩が原岩であり、高圧型変ハンレイ岩は、海洋地殻下部のハンレイ岩が原岩であることが推定されたことから、いずれも海洋地殻を起源とすることが明らかになった。高圧型変ハンレイ岩中に含まれるジルコンの U-Pb 同位体年代結果から、約 500 Ma の原岩形成年代が得られたため、この海洋地殻の形成時期は遅くとも 500 Ma であると考えられる。また、九州?紀伊半島の広域に分布する青色片岩および高圧型変ハンレイ岩から、270~300 Ma の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が得られた。これら高圧変成岩は、いずれも藍閃石やローソン石を含むことから、得られた年代は、黒瀬川帯の広域的な沈み込み帯における青色片岩相の変成年代であることが示唆される。

変成堆積岩

今回分析を行った変成堆積岩は、泥質片岩および珪岩であり、特に泥質片岩は藍閃石やローソン石を含み、青色片岩とともに産出することが特徴である。変成堆積岩中の碎屑性ジルコン年代の頻度分布は、420-3330 Ma の幅広い年代をしめし、420 Ma より若い年代をしめさないこと、450-500 Ma, 600 Ma, 1200 Ma の年代ピークが類似すること、2400 Ma よりも古いジルコンを含む特徴が広域に共通する。従って、堆積物の起源となった碎屑物の供給源が同一であることが推察された。加えて、泥質片岩は、藍閃石やローソン石を含むことから青色片岩とともにペルム紀に高圧変成作用を受けたことが示唆される。

高温変成岩

高温変成岩は、火成岩起源の粗粒な斜長石や普通角閃石、残存単斜輝石を含むことが特徴であり、角閃岩相からグラニュライト相の変成作用を受けている。これら高温変成岩は、火山弧に関連するハンレイ岩マグマを起源としており、高圧変成岩とは形成過程が異なる。また、高温変成岩中のジルコンの U-Pb 同位体年代結果から、火成活動年代は約 450 Ma であると考えられる。

花崗岩類

花崗岩は、一般に黒雲母白雲母花崗岩であるが、ザクロ石や普通角閃石を含むことがある。また、花崗岩は、岩石化学組成およびジルコン U-Pb 年代の検討から、高温型変ハンレイ岩と同様に、約 450 Ma の火山弧に関連する火成活動の年代が得られた。

まとめ

黒瀬川帯の蛇紋岩メランジ中の岩石ブロックである高圧変成岩、変成堆積岩、高温変成岩、花崗岩における地質学的、岩石学的、年代学的特徴について検討した結果、岩相ごとに形成年代およびその形成場が共通することが明らかになった。そのため、黒瀬川帯の形成プロセスは、南北中国地塊間に存在した海洋プレートの形成・成長・沈み込みにおいて説明される。また、黒瀬川帯を日本の他の地質体と比較すると、南部北上帯に分布する変成岩および火成岩の形成年代やその形成場が共通することから、南部北上帯と黒瀬川帯との関連性が示唆される。当日は、各時代におけるテクトニクスについて、推定されるモデルを用いて議論を行う。

キーワード: 黒瀬川帯, ジルコン U-Pb 年代
Keywords: Kurosegawa Tectonic Zone, U-Pb zircon age

Metamorphism of the NE side of the Seba eclogitic basic schist in the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan Metamorphism of the NE side of the Seba eclogitic basic schist in the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan

KISHIRA, Naohito^{1*}; TAKASU, Akira¹; KABIR, Md fazle¹
KISHIRA, Naohito^{1*}; TAKASU, Akira¹; KABIR, Md fazle¹

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

The Sebadani area belongs to the albite-biotite zone and is located in the central part of the Besshi district. The Sebadani area is composed of the Sebadani metagabbro mass and surrounding Seba basic schists, pelitic and siliceous schists occur as intercalation within the Seba basic schists (Takasu and Makino, 1980; Takasu, 1984). Eclogitic mineral assemblages are sporadically preserved in both the Sebadani metagabbro and the Seba basic schists (Seba eclogitic basic schists) (e.g. Takasu, 1984; Naohara and Aoya, 1997; Aoya, 2001). The Onodani eclogites preserved within the Seba basic schists have a complex metamorphic history, undergoing three different metamorphic episodes (Kabir and Takasu, 2010). The first and second eclogite facies metamorphism is estimated as 530-590 °C and 19-21 kbar and 630-680 °C and 20-22 kbar, respectively. The second metamorphic event is similar to that of the Seba eclogitic basic schist of Aoya (2001) (610-640 °C and 12-24 kbar). The pelitic schists intercalated within the Seba eclogitic basic schists also underwent eclogite facies metamorphism of 520-550 °C and c. 18 kbar (Zaw Win Ko *et al.*, 2005; Kouketsu *et al.*, 2010).

The eclogite in the northeastern part of the Seba eclogitic basic schists consist mainly of garnet, epidote, amphibole (glauco-phane, barrosite, taramite, Mg-taramite, Mg-katophorite, edenite), omphacite (X_{Jd} 0.27-0.41), phengite (Si 6.5-6.9 pfu). Minor amounts of albite, dolomite, rutile, titanite, biotite, chlorite and quartz. The schistosity is defined by preferred orientation of phengite, amphibole and epidote. Garnets are almandine-rich in composition, increasing almandine (X_{Alm} 0.54-0.60), pyrope (X_{Prp} 0.07-0.13) and decreasing spessartine (X_{Sprs} 0.10-0.03) from core to the rim and contain inclusions of epidote, omphacite (X_{Jd} 0.27-0.41), dolomite, quartz and titanite. They also contain inclusions of barrosite/Mg-katophorite and albite symplectite. Amphibole in the matrix are zoned, barrosite/Mg-katophorite cores to edenite rims. Some other amphiboles in the matrix are parallel to the schistosity and occasionally occur as randomly oriented. The cores of these amphiboles are resorbed barrosite, glaucophane in the mantle and barrosite/edenite in the rim.

Based on the mineral paragenesis of the eclogites the metamorphism is divided into three events. The first eclogitic metamorphic event is deduced from symplectites of barrosite/ Mg-katophorite and albite after omphacite inclusions in garnet. The prograde stage of the second eclogitic metamorphic event is represented by the inclusions minerals within the mantle and rim of garnets consisting of epidote, barrosite and dolomite. The peak eclogite facies stage is defined by garnet rim and omphacite inclusions within the garnets with schistosity forming minerals of barrosite, omphacite and phengite. Garnet and omphacite rim-rim pairs yielded 530-570 °C and >11-14 kbar, and garnet and omphacite inclusion within garnet yields 520-560 °C, >11-12 kbar (Ellis & Green, 1979; Banno, 1986). THEMOCALC (Holland & Powell, 1998) average *P-T* calculation for garnet + omphacite + barrosite + phengite assemblage obtained 590-610 °C and 19-20 kbar. The retrograde stage is defined by symplectite of barrosite and albite after omphacite. The third metamorphic event is defined by zoned amphibole in the matrix.

The estimated metamorphic temperatures of the eclogites are lower than that of the second high-pressure metamorphic event of the Onodani eclogite and similar to that of the omphacite-bearing metapelites from the NW part of the Seba eclogitic basic schists (Kouketsu *et al.*, 2010). This suggests a metamorphic thermal gradient existed within the Seba eclogitic basic schists.

キーワード: Sambagawa (Sanbagawa) metamorphic belt, Seba basic schist, eclogite, glaucophane, P-T path, thermal gradient
Keywords: Sambagawa (Sanbagawa) metamorphic belt, Seba basic schist, eclogite, glaucophane, P-T path, thermal gradient

Metamorphic history of garnet amphibolite from the Neldy Formation, Makbal district in the Kyrgyz Northern Tien-Shan Metamorphic history of garnet amphibolite from the Neldy Formation, Makbal district in the Kyrgyz Northern Tien-Shan

KASYMBEKOV, Adil^{1*}; TAKASU, Akira¹; KABIR, Md fazle¹; BAKIROV, Apas²; SAKIEV, Kadyrbek²
KASYMBEKOV, Adil^{1*}; TAKASU, Akira¹; KABIR, Md fazle¹; BAKIROV, Apas²; SAKIEV, Kadyrbek²

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan, ²Institute of Geology, Academy of Science, Kyrgyz Republic

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan, ²Institute of Geology, Academy of Science, Kyrgyz Republic

The Kyrgyz Tien-Shan Mountains extend from east to west, separating the Kazakhstan plate to the north and the Tarim plate to the south. They are divided into three tectonic units; the Northern Tien-Shan, the Central (or Middle) Tien-Shan and the Southern Tien-Shan. In the Northern Tien-Shan there are two HP and UHP metamorphic complexes, Makbal HP and UHP in the western part, and Aktyuz HP in the eastern part of the complexes. The Makbal complex in the Kyrgyz Northern Tien-Shan is located in the western segment of the CAO. B.

The metamorphic rocks exposed in the Makbal district are divided into the Akdzhon and the Scharkyrak Groups based on their metamorphic conditions. The Akdzhon Group contains rocks of the HP and UHP metamorphic conditions, whereas the Scharkyrak Group underwent greenschists facies metamorphism. The Akdzhon Group is divided into two contrasting metamorphic formations, the structurally lower Makbal Formation and the upper Neldy Formation.

The Neldy Formation is mainly composed of garnet-phengite schists and chlorite-carbonate rocks, along with minor metaquartzites and marbles. Amphibolites and garnet amphibolites occur in the garnet-phengite schists as lenses or blocks up to 50 m across. Eclogites preserved in the cores of the garnet amphibolite bodies. Garnet amphibolite consists mainly of amphibole (magnesian hornblende, ferropargasite, ferrotschermakite, tschermakite, barroisite, actinolite), garnet and chlorite, with minor amounts of quartz, epidote and albite. Accessory minerals are paragonite, titanite and calcite. A schistosity is defined by preferred orientation of amphibole.

Garnets in the garnet amphibolite are rich in almandine (X_{Alm} 0.35-0.64), with variable amounts of spessartine (X_{Spss} 0.00-0.20), grossular (X_{Grs} 0.27-0.61) and pyrope (X_{Prp} 0.01-0.07) compositions. Garnet displays a compositional zoning, in which decrease X_{Spss} (0.20-0.04), increases X_{Alm} (0.35-0.60), X_{Grs} (0.31-0.62) and slightly increase X_{Prp} (0.01-0.03) from the core to the rim and contain inclusion of paragonite, titanite, chlorite, epidote and amphibole (actinolite, magnesian hornblende). The garnets are partly replaced by chlorite and aggregates of amphibole (ferrotschermakite, barroisite), chlorite and quartz along the cracks. Amphiboles in the matrix are zoned with magnesian hornblende and barroisite cores to ferrotschermakite and tschermakite rims and contain inclusions of titanite and quartz.

Based on the texture and mineral composition, we consider that the prograde stage probably stable in the epidote-amphibolite facies condition due to the existing of barroisitic amphibole and epidote along with garnet, paragonite, albite and chlorite. The tschermakitic rim of matrix amphibole suggests that the peak stage probably stable in the amphibolite facies conditions. The expecting metamorphic condition of the garnet amphibolite from the Neldy Formation corresponding with peak $P-T$ conditions of 610-620 °C and 14-16 kbar for the garnet amphibolite from the Makbal complex (Rojas-Agramonte *et al.*, 2013).

References:

Rojas-Agramonte Y., Herwartz D., Garcia-Gasco A. *et al.*, (2013) *Contrib Mineral Petrol*, 166, 525-543.

キーワード: Garnet amphibolite, metamorphic history, amphibolite facies, Makbal complex, Neldy Formation, Kyrgyz Tien-Shan

Keywords: Garnet amphibolite, metamorphic history, amphibolite facies, Makbal complex, Neldy Formation, Kyrgyz Tien-Shan

metamorphic sole で変成した岩石が受けた応力-歪履歴の比較
The stress-strain history of metamorphic sole: the case study of Greece, Turkey, Oman
and Andaman islands

星野 健太^{1*}
HOSHINO, Kenta^{1*}

¹ 静岡大学大学院理学研究科
¹ Shizuoka University, Graduate School of Science

本研究ではマイクロブーディン構造を持つ柱状鉱物を対象としており、このような鉱物をマイクロブーディン法によって解析することで応力や歪を定量的に解析することができる。

本研究ではトルコ・Kaynarca 地方、オマーン・Saih Hatat 地方、ギリシャ・Vourinos 地方およびアンダマン島で採取されたメタチャートをサンプルとして用いた。これらの地域は Tethys 海が閉海した際に生じた一連のオフィオライト帯だと考えられている。採取されたメタチャート中に紅簾石・電気石のマイクロブーディン構造が確認できたため、マイクロブーディン法によって解析を行った。その結果古差応力の値は 3.3 – 24.8MPa であり、strain reversal method を用いて応力-歪曲線を作成した。この曲線を地域ごとに比較すると、応力の上がり方に差はあるものの応力が上昇から下降へ変化したものはなかった。このことから、岩石が受けた温度圧力のピークと差応力のピークは同時期でなく、温度圧力が上昇したのちに差応力が上昇したと考えられる。

キーワード: マイクロブーディン, メタモルフィックソール, 古差応力, テチス, 応力 - 歪履歴
Keywords: microboudin, metamorphic sole, palaeodifferential stress, Tethys, stress-strain history

跡倉ナップからみた西南日本前弧域における白亜紀後期—古第三紀のテクトニクス Late Cretaceous and Paleogene nappe tectonics in the forearc regions of Southwest Japan

小野 晃^{1*}
 ONO, Akira^{1*}

¹ なし
¹ none

白亜紀後期や古第三紀の西南日本では、前弧域で起きた複数回のナップテクトニクスによって、地殻表層部が海溝の方向に移動している（添付図 A, B）。その一例が関東山地北縁部の跡倉ナップや領家ナップである。侵食されずに残存しているナップやナップ由来の礫などの研究によると、ナップテクトニクスを受けた地質体は前弧域の堆積物である跡倉層や寄居層、110Ma 頃の花崗岩や変成岩、ペルム紀の花崗岩、白亜紀後期の領家花崗岩や変成岩などである。これらの地質体の弧 - 海溝系における分布状況が地質断面図として添付図 B に模式的に描かれている。前弧域の地質は地質時代によって変化しているので、複数の地質時代の復元図が提示されている [1]。なお、添付図 B の肥後 - 阿武隈帯とは、110Ma 頃に形成された花崗岩や変成岩の分布地帯で、金勝山 - 南部北上帯とは、ペルム紀や石炭紀の花崗岩が分布していた地帯である。

ここで問題になるのは、厚さ 5 km ほどの地殻表層部がナップとして移動した時期に、地殻の中～下層部はどうであったのか、という点である。ほとんど移動しなかったという可能性がある。その一方で、マントルの方に向かって移動した可能性もある。後者の場合、地殻のかなり深部にデコルマがあって、地殻表層部はナップとして地表に向かって移動し、地殻中～深部はマントルの方に向かって流動したことが想定される（添付図 C）。このテクトニクスが 100Ma から 60Ma ごろの花崗岩マグマの活動が著しかった時期に起きた可能性は高い。また、このようなテクトニクスが繰り返されると肥後 - 阿武隈帯や金勝山 - 南部北上帯の古い地質体などは、表層部だけではなく中・深部さえも消失してしまう。そのため、中央構造線近傍では、地表付近でも地下深部でも領家帯中～深部の変成岩や花崗岩は四万十帯の延長部の岩石と直接接することになる。

この問題に関連して、紀伊山地中央部では四万十帯が領家帯と直接接していて、110Ma 以前の古期岩体は中央構造線近傍に確認されていない。また、放射法地震探査に基づく西南日本の地殻断面 [2] においても、ナップテクトニクスで消失した前弧域の地質体の構造的下位に想定される地質体を、中央構造線近傍に見出すことは困難である。

以上の様な地質とテクトニクスを考えると、ナップが形成されていた時期について、前弧域の地殻中～深部やマントルにおける地質体の移動方向や流動方向は、添付図 C に示すようであったと推定される。

- [1] 小野, 2011, 日本地質学会第 118 年学術大会, p. 196.
- [2] 伊藤・佐藤, 2010, 地学雑誌, 119, p 235.

キーワード: 西南日本, 前弧域, 白亜紀後期と古第三紀, ナップテクトニクス, 地殻中～深部
 Keywords: Southwest Japan, Forearc, Late Cretaceous and Paleogene, Nappe tectonics, Lower crust

