

## 高温変成作用継続時間の推定におけるジルコン中のメルト包有物の意義 - 領家変成帯の例

### Significance of melt inclusions in Zrn in estimating the duration of high-T metamorphism - An example of the Ryoke belt

河上 哲生<sup>1\*</sup>, 山口 勇央<sup>1</sup>, 三宅 亮<sup>1</sup>, 牧 賢志<sup>1</sup>, 柴田 知之<sup>2</sup>, 横山 隆臣<sup>1</sup>, 平田 岳史<sup>1</sup>

KAWAKAMI, Tetsuo<sup>1\*</sup>, YAMAGUCHI, Isao<sup>1</sup>, MIYAKE, Akira<sup>1</sup>, MAKI, Kenshi<sup>1</sup>, SHIBATA, Tomoyuki<sup>2</sup>, Takaomi D. Yokoyama<sup>1</sup>, HIRATA, Takafumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科, <sup>2</sup> 京都大学大学院地球熱学施設

<sup>1</sup> Graduate School of Science, Kyoto Univ., <sup>2</sup> Geothermal Research Lab, Kyoto Univ.

ジルコン中のメルト包有物は、ジルコンがメルト共存下で成長したことを示す重要な証拠であり、U-Pb ジルコン年代の意味を理解する上で重要な、ジルコンの成長時期制約に大きく貢献している。領家変成帯のミグマタイトに含まれるジルコン中から、メルト包有物が見いだされたので報告する。

領家変成帯青山高原地域には、角閃岩相高温部からグラニュライト相相当の変成度に達した砂泥質変成岩が広く露出しており、その岩相は北部 (Sil-Kfs 帯および Grt-Crd 帯低温部) で砂泥質片岩が卓越するが、南部 (Grt-Crd 帯中～高温部) ではミグマタイトが卓越する [1]。Grt-Crd 帯低温部の砂泥質片岩中に産するジルコンは、Grt-Crd 帯中～高温部に産するミグマタイト中のジルコンよりも粗粒なものが多い。LA-ICP-MS による U-Pb 年代測定の結果、これらはデトリタルなジルコンであり、リムにも領家変成作用に伴う変成ジルコンは成長していないことが分かった。

一方、Grt-Crd 帯高温部のミグマタイト中のジルコンは、BSE 像で白くみえる薄い帯状のコア・リム境界をもち、この白い帯に沿って数  $\mu\text{m}$  の包有物が多数取り込まれている [c.f. 2]。この包有物を TEM 観察するとハローパターンが得られ、EDS 分析により Si、Al、K に富むガラスであることが分かった。このメルト (ガラス) 包有物の配列より内側のコアは、さまざまなデトリタル年代を与えるが、外側のリムは  $93.1 \pm 2.9 \text{ Ma}$  の U-Pb コンコーディア年代を与えた。リムは  $20\mu\text{m}$  以上成長しており、その Th/U 比は 0.02 以下である。コア・リム境界におけるガラス包有物の存在により、リム成長時にメルトが共存したことが示唆されるから、このリムは領家変成作用時に、メルトとモナズ石存在下で成長したジルコンであると考えられる。本地域での砂泥質岩の部分熔融では、主に黒雲母・珪線石が消費されてザクロ石・堇青石が形成される反応が重要な役割を果たしているが [1]、黒雲母はジルコニウムの重要なホスト鉱物では無い [3]。従って黒雲母は多量のジルコン成長のためのジルコニウムの供給源とはなり得ず、本地域で新たな多量のジルコンを (再) 成長させるには既存のジルコンの溶解が必要である。この場合、メルト量の増加を伴いながらメルトをジルコン成分に飽和させるのは困難であるから、本地域のジルコンの若いリムは、部分熔融メルトが冷却固結する段階で、含水ソリダス付近で成長した可能性が高い。Grt-Crd 帯中温部のミグマタイト中のジルコンにも、高温部と同様、若く低い Th/U 比を持つリムが薄いながら成長しており、メルトの存在がジルコンの溶解再成長に重要な役割を果たしていることを示唆する [e.g. 4]。

Grt-Crd 帯低温部で全岩 Zr 濃度が特に高い傾向がないにもかかわらず、 $20\mu\text{m}$  以上の粒径を持つジルコンのモードは Grt-Crd 帯低温部の方が高い。また SEM-EDS 観察では、粒径が  $20\mu\text{m}$  未満の小さなジルコンが Grt-Crd 帯中・高温部で多くなる傾向があり、高温部ではデトリタルコアを持たない  $30\mu\text{m}$  程度の若いジルコンが稀に見られる。これらのことから、Grt-Crd 帯中～高温部では、領家変成時にオーバーグロウスと並行して、細粒ジルコンの核形成が新たに進行したものと考えられる。

一方モナズ石は角閃岩相程度の変成度で成長し、メルトが存在してもその影響を受けて溶解・成長することは少ないようである [4]。従って、CHIME 年代測定によって  $96.5 \pm 1.9 \text{ Ma}$  を与える、青山高原地域のモナズ石 [5] も昇温変成期に角閃岩相程度で形成されたと考えることができる。ジルコンとの成長時期の違いを用いることで、青山高原地域の角閃岩相以上の高温継続時間は  $3.5 \text{ Ma}$  程度と見積もられる。

[1] Kawakami (2001) JMG 19, 61-75. [2] Cesare et al. (2003) CMP 146, 28-43. [3] Bea et al. (2006) Can Min 44, 693-714. [4] Rubatto et al. (2001) CMP 140, 458-468. [5] Kawakami & Suzuki (2011) Island Arc, 20, 439-453.

キーワード: ジルコン, ガラス包有物, ミグマタイト, LA-ICP-MS, 部分熔融

Keywords: zircon, glass inclusion, migmatite, LA-ICP-MS, partial melting

## 大陸衝突帯で見られるグラニュライト相における塩素に富む流体活動 The chlorine-rich fluid activity during granulite facies metamorphism in the continental collision zone

東野 文子<sup>1\*</sup>, 河上 哲生<sup>1</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>2</sup>, 石川 正弘<sup>3</sup>, 牧 賢志<sup>1</sup>, 土屋 範芳<sup>4</sup>, Grantham Geoff<sup>5</sup>, 平田 岳史<sup>1</sup>  
 HIGASHINO, Fumiko<sup>1\*</sup>, KAWAKAMI, Tetsuo<sup>1</sup>, MADHUSOODHAN, Satish-Kumar<sup>2</sup>, ISHIKAWA, Masahiro<sup>3</sup>, Kenshi Maki<sup>1</sup>,  
 TSUCHIYA, Noriyoshi<sup>4</sup>, Geoff Grantham<sup>5</sup>, HIRATA, Takafumi<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 京都大学, <sup>2</sup> 静岡大学, <sup>3</sup> 横浜国立大学, <sup>4</sup> 東北大学, <sup>5</sup> 南アフリカ地質調査所

<sup>1</sup> Kyoto University, <sup>2</sup> Shizuoka University, <sup>3</sup> Yokohama National University, <sup>4</sup> Tohoku University, <sup>5</sup> Council for Geoscience

変成流体は、熱および物質の移動 (例えば Helgeson, 1964)、交代作用 (例えば Meyer & Hemley, 1967)、鉱物の安定領域の変化 (例えば Powell et al., 1991) などにおいて、重要な役割を果たす。グラニュライト相の変成岩中では、CO<sub>2</sub> に富む流体に関する研究は多く、重要視されている一方で、塩素に富む流体に関する研究は少ない。その理由の1つとして、塩水は、CO<sub>2</sub> に富む流体よりも、粘性およびぬれ角が小さいために、流体含有物として鉱物中に取り込まれにくいという性質 (Watson & Brenan, 1987) を持つことが挙げられる。しかし、塩水が高度変成岩中で果たす役割の大きさは、徐々に認識されつつある (Newton & Manning, 2010)。そこで本研究では、鉱物中の塩素濃度を用い、塩素に富む流体の下部地殻における活動と、それが果たす役割について制約を試みた。

東南極セールロンダーネ山地には、原生代後期からカンブリア紀にかけてのグラニュライトが広く分布する (Shiraishi et al., 2008)。本研究では、セールロンダーネ山地の南西部を除くほぼ全域にわたり、20 以上の泥質片麻岩を用いて、塩素に富む黒雲母の分布と産状を調べた。その結果、バルヒエン山に産する黒雲母 - ザクロ石 - 珪線石片麻岩を、塩素に富む流体活動を読み解く最適試料として選択した。この片麻岩中には、リンによる組成累帯構造を持つザクロ石斑状変晶 (粒径約 5-10 mm) が含まれる。ザクロ石斑状変晶は、振動累帯構造を呈するリンに富むコアと、コアの振動累帯構造を不連続に切り、再成長したリンに乏しいリムを持つ。ザクロ石斑状変晶のリンに富むコアには、塩素に乏しい黒雲母および燐灰石が含有され、リンに乏しいリムには、塩素に富む黒雲母および燐灰石が含有される。また、マトリクスの黒雲母と燐灰石は塩素に乏しい。さらに、特徴的な丸い粗粒ジルコン (粒径約 100 μm) が、ザクロ石斑状変晶のリムとマトリクスに分布する。

塩素に富む黒雲母がザクロ石のリムに含有された温度圧力条件は、ザクロ石 - 黒雲母地質温度計と GASP 地質圧力計 (Hodges & Spear, 1982) を用いて、約 800 °C、8 kbar と見積もられ、最高変成温度圧力条件は、同様に、約 850 °C、11 kbar と見積もられた。これらの温度圧力条件を用いて、それぞれの条件下に存在した黒雲母と燐灰石と共存する流体の  $f_{HCl} / f_{H_2O}$  を求めたところ (Selby & Nesbitt, 2000; Piccoli & Candela, 1994)、ザクロ石リムと共存する流体は、コアと共存する流体よりも  $f_{HCl} / f_{H_2O}$  が 10 倍以上大きいことが分かった。この結果は、ザクロ石のコアとリムの間で、塩素に富む流体が流入したことを示し、塩素に富む黒雲母と燐灰石は、塩素に富む流体の流入 (例えば Sisson, 1987) によって形成されたと考えられる。さらに、LA-ICPMS で測定したザクロ石のリムに含有される丸い粗粒ジルコンの U-Pb コンコード年代は、600 ± 13 Ma を示す。すなわち、塩素に富む流体は約 800 °C、8 kbar の条件下で、600 ± 13 Ma に流入したということが分かった。

塩素に富む黒雲母を含む泥質岩は、セールロンダーネ山地に広く、線状に分布する。その付近には延性せん断帯 (石川ほか, 2011) が存在する場合もあり、塩素に富む流体流入と、せん断帯は関連性がある可能性がある (例えば Kullerud et al., 2001)。セールロンダーネ山地で広域的にザクロ石に含有される塩素に富む黒雲母が確認されたことから、最高変成温度付近における塩素に富む流体活動は、他の大陸衝突帯でも起きている主要な現象の1つかもしれない。

キーワード: 塩素, 流体, 黒雲母, 燐灰石, セールロンダーネ山地

Keywords: chlorine, fluid, biotite, apatite, Sor Rondane Mountains

## High-T metamorphic rocks and exhumation process of the Tseel terrane, SW Mongolia High-T metamorphic rocks and exhumation process of the Tseel terrane, SW Mongolia

Burenjargal Ulziiburen<sup>1\*</sup>, Atsushi Okamoto<sup>1</sup>, Noriyoshi Tsuchiya<sup>1</sup>  
ULZIIBUREN, Burenjargal<sup>1\*</sup>, OKAMOTO, Atsushi<sup>1</sup>, TSUCHIYA, Noriyoshi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

Tseel area, Tseel metamorphic terrane, SW Mongolia is mainly composed of metapelitic gneisses, amphibolites (sillimanite zone) and intruded by ring structure of the granitoids (sillimanite zone) and covered by sediments. Three mineral zones in the pelitic gneisses determined based on the petrographic study and mineral assemblages of each zones as follows: (1) Biotite zone (Bt + Pl + Qtz + Ms + Chl + Cal) (2) Garnet zone (Grt + Bt + Pl + Qtz +/- Chl +/- Ru + Il + Cal) (3) Sillimanite zone (Grt + Bt + Pl + Qtz + Sil + Ms + Chl +/- Crd +/- St + Ru + Il + Cal +/- Fe-Mg Amp). Biotite zone observed in most area of southern and northern parts of Tseel area. Garnet zone is determined between biotite and sillimanite zones. The sillimanite zone is observed in the central parts of Tseel area. All mineral zones observed along the foliation from E to W trends at Tseel area.

We showed the characteristic features of chemical compositions of garnet, biotite and plagioclase in the pelitic gneisses and determine the P-T paths deduced from the garnet chemical zoning using thermodynamic equilibria in Tseel area as follows: Garnet in the pelitic gneisses shows almandine-rich compositions and some samples show clear compositional zoning. Based on the Ca (grossular) composition of garnet, the sillimanite zone is subdivided into sillimanite A and B zones. Garnet in the garnet zone shows relatively homogeneous compositions in the range of (530-600 °C and 6.0-10.0 kbar). The garnet chemical compositions in the sillimanite B zone show a homogeneous composition in a range of (620-750 °C and 1.8-6.0 kbar), and sometimes contain the retrograde rim produced by post-growth diffusion. The garnet chemical zoning in the sillimanite A zone typically is divided into three zones from core to rim: zone 1 (high Ca with homogeneous), zone 2 (decrease in Ca), and zone 3 (low Ca). The compositions of zones 1 and 2 correspond to those of garnet in the garnet and sillimanite B zones, respectively, and zone 3 indicate the effect of the post-growth diffusion. The P-T conditions during garnet growth were calculated by garnet-biotite geothermometry and garnet-biotite-plagioclase-quartz geobarometry. In application of geothermobarometry to garnet zonings, we calculated P-T conditions for four cases with highest and lowest XMg, Bt and XAn, Pl, that provide the possible P-T ranges for a given garnet composition and constrain roughly the shape of P-T path. The shapes of the P-T paths obtained for individual garnets are similar among the four cases, and the differences in pressure and temperature among the four cases are within 15 °C and 2.5 kbar, respectively. The P-T conditions estimated from the garnet zone are in a range of 530-600 °C and 6.0-10 kbar, that are located at the kyanite stability field. The P-T conditions estimated from the sillimanite B zone are in a range of (570-690 °C and 1.8-8.0 kbar). The longest P-T path is obtained from the samples in the sillimanite A zone, such as sample 3001, which shows a decompression from zone 1 (530-570 °C and 6.0-9.6 kbar) to zone 3 (570-620 °C and 2.0-4.0 kbar), corresponding with a change from the kyanite stability field to the sillimanite stability field. Zone 2 shows an increase in temperature by ~40 °C and a decrease in pressure by 4-6 kbar.

The intrusions of the granitoids occurred during the exhumation of the Tseel terrane, and produced the regional anticline structures and mineral zones. The high temperatures and homogeneous garnet zoning of the sillimanite B zone were resulted from the thermal effects from the granitoids. The sillimanite A and B zones experienced the P-T conditions of the kyanite stability field, that was similar to the garnet zone. The high temperature of the garnet zone cannot be explained solely by the contact metamorphism by granitoids, but the regional high geothermal gradient is expected in the subduction zones.

キーワード: Tseel terrane, garnet, P-T paths, exhumation process

Keywords: Tseel terrane, garnet, P-T paths, exhumation process

## ベトナム北部・レッドリバー剪断帯の高温・高圧変成作用の時期: Paleogene vs. Permo-Triassic Timing of HP and HT-UHT metamorphism in the Red River shear zone, northern Vietnam: Paleogene vs. Permo-Triassic

中野 伸彦<sup>1\*</sup>, 小山内 康人<sup>1</sup>  
NAKANO, Nobuhiko<sup>1\*</sup>, OSANAI, Yasuhito<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学・比文  
<sup>1</sup>SCS., Kyushu Univ.

The Red River shear zone is left-lateral shear zone caused by collision of the India to the Eurasian continent at the Paleogene. Although most metamorphic rocks were reset by the deformation, recent U-Pb and Th-Pb in-situ chronological investigations have suggested complex ages from 262 to 25 Ma. In this presentation, we make clear the timing of the high-grade metamorphism using HP and HT-UHT granulites.

To realize the metamorphic conditions and timing of the high-grade event, we use the fluid inclusion technique in association with in-situ U-Pb zircon age. Abundant fluid inclusions are observed in garnet, corundum, staurolite, while are rare in quartz and zircon. Raman analysis shows that all fluid inclusions are composed of CO<sub>2</sub>. Their average densities calculated from two Raman peaks are 1.00 +/- 0.06, 1.07 +/- 0.04, 1.09 +/- 0.03, 0.29 +/- 0.07, and 1.15 +/- 0.05 g/cm<sup>3</sup> for garnet, corundum, staurolite, quartz, and zircon, respectively. The low-density CO<sub>2</sub> fluids in quartz imply that garnet and corundum have grown up at the different stage than quartz. The estimating pressure-temperature condition based on the mineral paragenesis (exclude quartz) and isochemical phase diagrams using whole rock chemistries of 3 rock types (garnet-corundum-sillimanite, garnet-spinel-sillimanite, and garnet-corundum-spinel granulites), former eclogite-facies (>2.0 GPa at 800 C) metamorphism and subsequent decompression under granulite-facies condition (>1000 C at 1.5 GPa) are identified.

U-Pb zircon ages show wide range from 265 to 36 Ma, however dark luminescent core of zircon containing high-density CO<sub>2</sub> inclusions yields a concordia age of 257 +/- 8 Ma, clearly indicating time of high-grade metamorphic event. This simple technique of combining Raman microscopy and U-Pb age could be easily and widely applicable to evaluate the zircon age and mineral associations in considering pressure-temperature-time evolution of multi-metamorphic events.

キーワード: in-situ U-Pb 年代測定, 流体包有物, 高度変成作用, レッドリバー剪断帯, ベトナム

Keywords: in-situ U-Pb dating, fluid inclusion, high-grade metamorphism, Red River shear zone, Vietnam

## ボヘミア山塊南部 Lhenice shear zone に産する泥質片麻岩の Monazite 年代値とその意義

### Monazite age of pelitic gneiss in the Lhenice shear zone (southern Bohemian Massif) and its significance

小林 記之<sup>1\*</sup>, サイモン ハーレー<sup>2</sup>, 廣井 美邦<sup>1</sup>, 平島 崇男<sup>3</sup>

KOBAYASHI, Tomoyuki<sup>1\*</sup>, Simon L. Harley<sup>2</sup>, HIROI, Yoshikuni<sup>1</sup>, HIRAJIMA, Takao<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学大学院理学研究科地球生命圏科学専攻地球科学コース, <sup>2</sup> エジンバラ大学, <sup>3</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Chiba University, <sup>2</sup>Department of Geology and Geophysics, University of Edinburgh, <sup>3</sup>Department of Geology and Mineralogy, Graduate School of Science, Kyoto University

チェコ共和国のボヘミア地塊には、様々な高温・超高温変成岩が産している。ボヘミア地塊南部に位置する Lhenice shear zone には、粗粒のザクロ石を含む泥質片麻岩が産している。この泥質片麻岩は部分溶融を示唆する Patch 状あるいは、レンズ状の優白質部分 (leucosome) を多数含む。この泥質片麻岩のマトリクスの鉱物共生は、石英+カリ長石+堇青石+珪線石+黒雲母+ザクロ石±斜長石±スピネルである。マトリクスには、モナザイトが普遍的に産するが、ジルコンは非常に少ない。本岩石中に含まれる粗粒ザクロ石は Ca に富む中心部と Ca に乏しい縁辺部に区分でき、Ca は“シルクハット”状に均質な中心部から縁辺部へと減少している。この粗粒ザクロ石は、Kobayashi et al. (2011) の解析によって、リン (P) に乏しい自形の中心部 (コア)、P に富む外縁部 (リム)、P に乏しい最外縁部 (outermost リム) に区分されている。さらに、この粗粒ザクロ石の組成累帯構造を用いて、P に乏しい粗粒ザクロ石コア形成ステージ (Stage 1)、P に富むリム形成ステージ (Stage 2)、マトリクスステージ (Stage 3) が識別されている。Stage 1 は、700-900 °C で 1.5-2.3GPa の高压条件が見積もられ、Stage 2 (730-830 °C, 1.0-1.3GPa) から Stage 3 (740-850 °C, 0.6-0.8GPa) まで部分溶融を伴った等温減圧をした変成温度圧力条件が見積もられている (Kobayashi et al., 2011)。

今回、この含粗粒ザクロ石泥質片麻岩に含まれるモナザイトから、各 Stage における chemical Th-U-Pb isochron method (CHIME) 年代値を見積もった。

粗粒ザクロ石には、石英、カリ長石、斜長石、藍晶石、珪線石、黒雲母、モナザイト、アパタイト、チタン石、ジルコン、CO<sub>2</sub>-N<sub>2</sub> 流体包有物などが包有されている。モナザイトは、粗粒ザクロ石の P に乏しいコア (Stage 1)、および、P に富むリム (Stage 2) 中に包有物として、さらに、マトリクス (Stage 3) にも単独粒子として産する。粗粒ザクロ石の P に乏しいコアに包有されているモナザイトのサイズは様々で、細粒 (約 10 μm) のものから、粗粒 (約 1mm) まで認められる。P に富むリム中に包有されるモナザイトは、細粒から中粒 (約 10 μm ~ 0.5mm) のものに限られる。マトリクスに存在するモナザイトは、中粒から粗粒 (約 0.5mm ~ 3mm) である。細粒なものを除く、すべてのモナザイトは中心部で Th にやや乏しく、縁辺部に Th に富む部分が確認される。P に乏しいコア (Stage 1) に包有されているモナザイトは、336 ± 11 Ma、P に富むリム (Stage 2) に包有されているモナザイトは、335.4 ± 7.2 Ma、マトリクス (Stage 3) に産するモナザイトからは 334.9 ± 3.9 Ma の年代値が得られた。また、各モナザイトの中心部は Th に富む縁辺部より若干ではあるが古い年代値を示した。得られた各 Stage の年代値は誤差の範囲内ではほぼ一致していた。以上のことから、本岩体は高压条件にまで沈み込んだ後、急速に上昇をしていたことが示唆される。

さらに、この泥質片麻岩を構成する粗粒ザクロ石の P に乏しいコアおよび、P に富むリム中には、廣井ほか (2011) で報告されているものと同様の、球晶状~グラノフリック状組織を有する、珪長質な火山岩様の包有物 (felsic volcanic rock-like inclusions 以下、FVRLI) が見出される。これらのことから、高压条件時の Stage 1 にはすでに部分溶融に伴うメルトが形成されていた可能性があり、その後の Stage 2 から Stage 3 まで部分溶融を伴った等温減圧をしていたと考えられる。このことは、本岩体は、高压条件 (Stage 1) から低压条件 (Stage 3) までの等温減圧と、その後、FVRLI に再結晶・粗粒化の暇を与えないほどの冷却過程が一連の事象として急速に展開したことを示している。

上記のような温度-圧力史を説明するテクトニック・モデルとしては、近年ヒマラヤやボヘミア山塊の研究から提唱されている “vertical extrusion and horizontal channel flow” モデル (例えば Schulmann et al., 2008) が、現段階において最も対応すると考えられる。

キーワード: ボヘミア山塊, モナザイト年代, 含粗粒ザクロ石泥質片麻岩, 部分溶融, 火山岩様包有物, 急冷

Keywords: Bohemian Massif, Monazite age, Grt-rich gneiss, Partial melting, Felsic volcanic rock-like inclusions (FVRLI), Rapid cooling

## 低圧型変成帯における温度圧力構造 -山口県東部領家帯を例にして- Thermobaric structure in low P/T type metamorphic belt -Case study of the Ryoike meta- morphitic belt in the eastern Yamaguc

菅原 雄<sup>1\*</sup>, 池田 剛<sup>1</sup>SUGAWARA, Yu<sup>1\*</sup>, IKEDA, Takeshi<sup>1</sup><sup>1</sup>九州大学<sup>1</sup>Kyushu University

現在の沈み込み帯の地殻~マントルには温度不均質が生じていることが、地震波トモグラフィー(例えば, Nakajima et al., 2009), または電気伝導度を用いた手法(例えば, Ogawa et al., 2001)からも予期され、さらに数値シミュレーション(例えば, Iwamori, 2000)からは温度圧力条件の時間変化を予測している。

一方で、過去の地殻~マントル物質からも岩石学的手法から温度不均質構造が存在したことが見出され(Baker, 1987など)、ギブス法(Spear, 1982)を適用することで、温度圧力条件の時間変化が定量的に議論されるなど(Okamoto and Toriumi, 2001など)、前者の物理的な手法との対応が期待される。本研究は、過去に沈み込み帯で形成された地殻物質である低圧型変成帯領家帯のうち、山口県東部地域を対象とし、鉱物組み合わせに基づく、変成分帯と地質学的温度圧力計を適用する岩石学手法から、温度不均質を提示し、その原因の解明を試みた。

泥質~砂質変成岩類の鉱物組み合わせから、山口県下松~柳井地域は、緑泥石帯、緑泥石、黒雲母帯、黒雲母帯、白雲母-堇青石帯、カリ長石-堇青石帯、ザクロ石-堇青石帯、珪線石-カリ長石帯に分帯される。Ikeda(1998)によって分帯された東部地域の帯のうち、カリ長石-堇青石帯、ザクロ石-堇青石帯、珪線石-カリ長石帯は調査地域まで延長される。ザクロ石-堇青石帯は東部から西部にかけて狭くなり、光市付近において消滅する。一方で、珪線石-カリ長石帯は調査地域南部の室津半島から下松地域まで広く分布する。

上記の分帯のうち、珪線石-カリ長石帯に属する計7つの泥質、砂質変成岩とザクロ石-堇青石帯に属する3つの泥質、砂質変成岩類に対して、SEM-EDSとEPMA-WDSを用いて組成を調べた。

ザクロ石は3試料を除いて、Coreの組成が均質で、RimがMnと富みFeとMgが乏しいという傾向を持つ(逆累帯構造)。これは高温条件で組成が拡散によって均質になった(Tracy(1982), Loomis(1983), Chakraborty & Ganguly(1991))後に、縁辺部が冷却過程において周囲の鉱物と組成交換または、鉱物生成反応に関わったために生じた(Ikeda, 1993など)と考え、Coreの部分をピーク時の組成を持つと考えた。

黒雲母は、全ての試料において不均質である。この組成差は、堇青石の分解組織周辺で起きている、 $TiFe=MgMn$ の置換で説明される。また、同様にザクロ石近辺では、 $Ti_2=Al_2(FeMgMn)$ の置換で説明される(Ikeda, 1991)。ピークの組成は、またはTiが最も大きいもの、MgまたはMnが最も小さいものになるはずであり、ここではMgの値が最も小さいものをピークの組成とした。

斜長石は、時にCaに富むCoreを持ち、縁辺をNaに富む層が覆って累帯構造を呈している。この組織を温度低下時にNaに富む斜長石が成長していったと考え、ピーク時の組成は、Caに富むCoreの部分と考えた。

以上の試料に対して、ザクロ石-黒雲母温度計(Hodges and Spear, 1982)と相対地質温度圧力計(Ikeda, 2004)を適用した。その結果、珪線石-カリ長石帯は623 ~ 732 °C, 2~5Kbar、ザクロ石-堇青石帯は671 ~ 880 °C, 2~6 Kbarと広い温度圧力条件を示すことが分かった。

以上の結果に、Ikeda(2004)の結果を加えて、温度圧力構造を推測した。温度は、600度~700度の北西部から700度以上の南東部に向かって上昇していき、東部にある柳井地域日積付近の限られた地域でのみ800 °C以上になる。圧力は北西部では、2~3 Kbarを示し、南東部の約5~6 Kbarに向かって高くなっていく。推測した等温線と等圧線は斜交し、等深度面に温度不均質があることが示される。

Miyazaki(2007)の数理モデルを適用すると、東部の柳井地域日積付近、南部の大島から室津、西部の下松の順に、メルト配給レートが早く、また、メルト配給継続時間が短かったことが予測される。また、見積もった圧力から東部と南部はほぼ等深度にあり、狭い地域でメルト配給レートや継続時間に差が生じていたことを示唆する。このような、狭い範囲におけるメルト配給の差異が生じる理由を考える必要がある。

キーワード: 変成岩, 低圧型変成帯, 領家帯, 沈み込み帯, 温度圧力構造, 黒雲母

Keywords: metamorphic rock, Low P/T metamorphic belt, Ryoike belt, subduction zone, Thermobaric structure, biotite

## antigoriteの脱水分解とB-タイプ olivine CPOの形成 Dehydration breakdown of antigorite and the formation of b-type olivine CPO

永治 方敬<sup>1\*</sup>, Wallis Simon<sup>1</sup>, 道林 克禎<sup>2</sup>, 水上 知行<sup>3</sup>

NAGAYA, Takayoshi<sup>1\*</sup>, WALLIS, Simon<sup>1</sup>, MICHIBAYASHI, Katsuyoshi<sup>2</sup>, MIZUKAMI, Tomoyuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻, <sup>2</sup> 静岡大学理学部地球科学科, <sup>3</sup> 金沢大学理工学域自然システム学類地球学コース

<sup>1</sup>Earth & Planetary Sci., Nagoya Univ., <sup>2</sup>Instit. Geosci. Shizuoka Univ., <sup>3</sup>Nat. Sci. Tech., Kanazawa Univ.

多くの沈み込み帯直上のマントルウェッジ (MW) での地震波の観測は、プレートの移動方向に垂直な方向に速い地震波を示している。この異方性の原因は、プレートの流れに平行な流れ方向に垂直に [1 0 0] 軸が集中した MW 内の b-Type olivine(Ol) CPO が存在するためと広く信じられている。

変形実験によって、b-type Ol CPO パターンは含水、高差応力の条件での転位クリープにより形成し得ることは確認された<sup>(1)</sup>。熱物理モデリングによりは、Ol b-type CPO が形成されるのに必要な条件は、沈み込み境界近辺で満たされると示した<sup>(2)</sup>。

しかしながら、antigorite(Atg) を含む水和した前弧マントルに関する研究では、Atg の存在が、既に存在する CPO を弱め、強い CPO を発達するのを妨げることを示した<sup>(3)</sup>。これは、剪断が Atg 層で集中し、Atg と Ol の間で粒界すべりが起こることに起因すると考えられている。この結果は、プレート境界付近の Atg が安定な領域では、強い b-type Ol fabric が発達しにくいことを示唆する。

しかしながら、天然の岩石からも b-type Ol CPO が複数例報告されている。しかし、報告された b-type Ol CPO の形成条件をまとめると、中には比較的高温、低差応力下で形成したものがあり、それらは実験的な研究から予想される形成条件と合致しない。また転位クリープによって b-type Ol CPO が形成する場合に必要な c-slip の証拠も、天然のサンプルからは未だ報告されていない。

以上の議論から、天然の b-type Ol CPO の形成についてまだ完全に理解されていないことが判る。

今回私たちは、飛騨外縁帯の八方尾根で採取した試料から発見した Atg 片岩の Ol への topotaxial な成長によって形成した b-Type Ol CPO について報告する。脱水と Ol 形成の前に、すでに Atg は比較的低温、かつ水和条件下で変形し、CPO を持っていた。その後、Atg 片岩が接触変成作用を被り、脱水分解したことで、非変形の二次的な Ol が脈状に形成した<sup>(4)</sup>。

Ol 脈の CPO は、c 軸が鉱物 (伸長) 線構造に平行で、b 軸が面構造に垂直な特徴を持つ、強い b-type CPO を示す。Ol 脈と隣接する Atg の CPO は、面構造に高角な c 軸と線構造に平行な b 軸の強い集中を示す。最近の研究では、この Atg CPO は前弧 MW で幅広く分布すると考えられている。

Ol と Atg との間で topotaxial な成長の関係は 2 種類知られており、どちらの場合も [010]atg と [001]ol は平行であるが、[010]ol は [100]atg (type 1)、もしくは [001]atg (type 2) のどちらかと平行である<sup>(5)</sup>。今回観測された Ol CPO と Atg CPO との関係は、2 つの鉱物間において type 2 の topotaxial な関係があることを示している。

Atg を含むマントルは、前弧マントルで広範囲に分布していると予想される。この物質は、沈み込みスラブに引きずられ、沈み込んでいく際に、変形し面構造を持つと考えられる。脱水分解を経験するのに十分な高温、高圧状態に達すると、この面構造を持った Atg 片岩は、脱水分解するだろう。私たちの結果は、この脱水分解が起こるとき、新たに形成される Ol が b-type CPO を持つことを示唆する。この topotactic 成長に起因する Ol CPO は、沈み込み境界近傍の最も冷たい領域から離れた MW においても形成することができると考えられる。

今回明らかになった b-type Ol CPO 形成のメカニズムは、変形実験の結果と天然のサンプルで観測される特徴との相違点をうまく説明することができ、b-type Ol fabric が沈み込み帯に限定されることを説明できる。

### [引用文献]

- (1) Katayama, I. & Karato, S. 2006, Phys. Earth Planet. Inter. 157 (1-2), 33-45
- (2) Kneller, E.A. et al. 2005, Earth Planet. Sci. Lett. 237, 781-976
- (3) Wallis, S. R. et al. 2011, J. Geol. Soc. London, Special Publications 360, 113-127
- (4) Nozaka, T. 2005, J. Metamorphic Geol. 23 711-723
- (5) Boudier, F. et al. 2010, J. Petrol. 51, 495-512

キーワード: トポタキシー, オリビン, CPO, アンチゴライト, 地震波異方性

Keywords: topotaxy, olivine, CPO, antigorite, seismic anisotropy

## 蛇紋岩の高圧分解によるスピニフェックス様組織を持つカンラン石斜方輝石岩とクリノエンスタタイトの形成

### Spinifex-textured olivine-enstatite rock and clinoenstatite formed by high pressure breakdown of antigorite

西山 忠男<sup>1\*</sup>, 恵口 響<sup>1</sup>, 吉朝 朗<sup>1</sup>, 杉山和正<sup>2</sup>, 有馬 寛<sup>2</sup>, 湯蓋邦夫<sup>2</sup>

NISHIYAMA, Tadao<sup>1\*</sup>, EGUCHI Hibiki<sup>1</sup>, YOSHIASA Akira<sup>1</sup>, SUGIYAMA Kazumasa<sup>2</sup>, ARIMA Hiroshi<sup>2</sup>, YUBUTA Kunio<sup>2</sup>

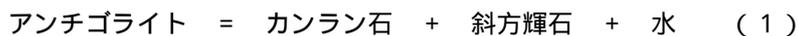
<sup>1</sup> 熊本大学自然科学研究科, <sup>2</sup> 東北大学金属材料研究所

<sup>1</sup> Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, <sup>2</sup> Institute for Materials Research, Tohoku University

#### (1) スピニフェックス様組織を持つカンラン石斜方輝石岩の成因

九州中部に分布する高温低圧型の肥後変成岩には、スピニフェックス様組織を有する変成カンラン岩（竹葉石）が分布することは良く知られており、水田（1978）による詳細な研究がある。この岩石は片麻岩の中に層状に分布しており、主として伸長したカンラン石と斜方輝石（エンスタタイト）からなる。カンラン石は定方向配列を示さない。カンラン石の大部分は蛇紋石に変質している。斜方輝石は多くの場合、変質を受けずに残存しているが、一部滑石に置換されているものもある。試料によっては少量のスピネル、トレモラ閃石、直閃石を含む。蛇紋石、滑石、トレモラ閃石、直閃石は2次鉱物と考えられ、この岩石は変成されたカンラン石斜方輝石岩ないしハルツバージャイトである。Trommsdorff et al.(1998) はスペインに分布するスピニフェックス様組織を示すカンラン石斜方輝石岩をその鉱物組合せと岩石組織から、アンチゴライトが高圧で分解して形成された岩石であると論じた。とくにカンラン石が[001]方向に伸長するスピニフェックス様組織は火成起源であれ変成作用によるものであれ、流体（メルトや変成流体）に富む環境で形成されるものだと論じ、スペインの岩石は、蛇紋石の脱水によって水に富む変成環境下で形成されたものと結論づけた。最近 Kendrick et al.(2011) はこの岩石の流体包有物を分析し、海水起源の希ガス組成と塩素に富む組成を保持していることを明らかにし、これらの特徴は、前弧におけるスラブベンディングにより浸入した海水によって蛇紋岩化したマントルが70km程度の深さで脱水分解したものであると論じた。

Trommsdorff et al.(1998) がスペインの岩石について論じたのと同様に、肥後変成岩中のカンラン石斜方輝石岩がほぼカンラン石と斜方輝石のみよりなること、ならびにカンラン石が顕著な伸長を示すこと、そのカンラン石は定向配列を示さないことを考えると、この岩石は次のようなアンチゴライトの脱水分解によって形成されたと考えるのが自然である。



この反応はおよそ 600 - 700 °C, 2 GPa 以上の圧力下で起こる。肥後変成岩の大半は白亜紀の高温低圧型変成作用の産物であるが、その中に高温低圧型変成作用とは異質な高圧条件を示す鉱物組合せが存在することはいくつかの研究によって示されている（Kano and Uruno, 1995; Karakida et al., 1989; Osanai et al., 1998; Maki et al., 2004; and Maki et al., 2009）。今回、変成カンラン石斜方輝石岩が、これまで知られている肥後変成岩の最高圧力（1 GPa）よりもはるかに高い圧力条件を示すことが明らかになった。

#### (2) クリノエンスタタイトの産状とその成因

変成カンラン石斜方輝石岩中の輝石は、En<sub>90</sub>Fs<sub>10</sub> - En<sub>95</sub>Fs<sub>5</sub> の組成を有し、CaO や Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> にきわめて乏しい。単結晶 X 線回折実験 (Rigaku RAPID) ならびに透過電子顕微鏡観察 (TOPCON, EM-002B, at 200 kV) の結果、この輝石は単斜エンスタタイト (P<sub>2</sub><sub>1</sub>/C) と斜方エンスタタイト (Pbca) のラメラから成ることが分かった。単斜エンスタタイトは斜方輝石とほぼ同じ組成を有し、組成的には区別できない場合が多い。しかし、試料によっては、母相よりもわずかに鉄に富み、組成から反射電子線像で明瞭に識別できるラメラも存在する。

単斜エンスタタイトと斜方輝石は、b 軸 c 軸方向が一致し、ラメラは a\* に垂直方向にナノレベルから数十ミクロンの幅で観察される。ナノレベルのラメラ領域は、光学的に波状消光する。数十ミクロン幅の領域は、c 軸に対し斜消光する広いシングルドメインの領域を形成し単結晶構造解析に使用した。観測される消滅則と単斜晶と斜方晶の構造モデル解析から、両領域が空間群 P<sub>2</sub><sub>1</sub>/C と Pbca エンスタタイトであることが確認できた。

地球上の岩石からのクリノエンスタタイトの報告は極めて限られている。最近、クリノエンスタタイト高圧相 (C2/c) の存在が実験によって明らかにされ (Gasparik, 1990 など)、天然のカンラン岩や輝岩に産するクリノエンスタタイトとの成因関係が議論されている。Zhang et al.(2002) は、中国の Dabie-Sulu 超高压変成帯のザクロ石輝岩中に広くクリノエンスタタイトが産することを報告し、この岩石の形成条件を 6.7 GPa, 750 °C 程度と見積もった。肥後変成岩の場合、アンチゴライトの脱水分解によるカンラン石・斜方輝石岩の形成条件は、上に述べたように 600 ? 700 °C, 2 GPa 程度であり、この条件はクリノエンスタタイト低圧相と斜方輝石 (オルソエンスタタイト) の相境界にきわめて近い。したがって、肥後変成岩のクリノエンスタタイトは、斜方輝石から剪断応力により形成されたものと考えるのが妥当であろうが、高圧相からの転移の可能性も捨てきれない。

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SMP46-08

会場:304

時間:5月25日 11:00-11:15

キーワード: 蛇紋岩, スピニフェックス組織, クリノエンスタタイト, 超高压変成岩, 肥後変成岩

Keywords: serpentinite, spinifex texture, clinoenstatite, ultra-high pressure metamorphic rock, Higo Metamorphic Rocks

## 三波川帯・五良津岩体のひすい輝石 藍晶石エクロジャイトの成因と意味 Petrogenesis and implications of jadeite-kyanite eclogite from the Iratsu body of the Sanbagawa belt, SW Japan

遠藤 俊祐<sup>1\*</sup>, 壺井 基裕<sup>2</sup>

ENDO, Shunsuke<sup>1\*</sup>, TSUBOI, Motohiro<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>関西学院大学

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Kwansei Gakuin University

Discovery of a new occurrence of jadeite- and kyanite-bearing eclogite from an outcrop within the Iratsu body of the subduction-type Sanbagawa belt, SW Japan, allows us to assess existing solid-solution models for clinopyroxene, and obtain insights into spatial variation in P-T conditions and/or H<sub>2</sub>O activity during the eclogite-facies metamorphism of this region. The jadeite + kyanite assemblage is stable at higher P-T conditions or lower H<sub>2</sub>O activity compared to paragonite. There is no significant difference in bulk rock composition between the newly found jadeite-kyanite eclogite and paragonite eclogite, which is the predominant eclogite type in the Iratsu body. The jadeite-kyanite eclogite is a medium-grained massive metagabbro consisting mainly of garnet, omphacite, kyanite, quartz, epidote, phengite, subcalcic amphibole and rutile. Pre-eclogitic relics of sodic augite (Jd<sub>7-24</sub>Acm<sub>6-16</sub>), actinolitic hornblende, Fe-rich garnet (Alm<sub>62-71</sub>Grs<sub>19-25</sub>Prp<sub>5-13</sub>Sps<sub>3-4</sub>) and magnetite are sporadically preserved. Eclogitic garnet (Alm<sub>54-61</sub>Grs<sub>16-20</sub>Prp<sub>20-25</sub>Sps<sub>1-2</sub>) optically shows a dusty appearance due to abundant microscopic inclusions of kyanite, quartz, epidote, phengite, omphacite (Jd<sub>40-55</sub>Acm<sub>7-13</sub>) and impure jadeite (Jd<sub>62-86</sub>Acm<sub>0-7</sub>). Jadeite is exclusively present as inclusions in garnet. The miscibility gap between the ordered omphacite (P2/n) and disordered impure jadeite (C2/c) progressively narrows during garnet growth, implying the temperature of the solvus apex coincides with the thermal peak of metamorphism. The observed compositional gap and the result of garnet-clinopyroxene Fe<sup>2+</sup>-Mg exchange thermometry are consistent with the phase diagram calculated in the pseudo-binary augite (Di<sub>66</sub>Hd<sub>14</sub>Acm<sub>20</sub>)-jadeite system by using the newest solid-solution model of Deiner and Powell (2012), and the calculated apex of the omphacite-jadeite solvus is at 625 deg.C. However, calculated pseudosections with XRF-derived bulk rock composition and the solid-solution model have no jadeite stability field for any reasonable values of P, T, X<sub>Fe3+</sub> and M<sub>H2O</sub>, although the matrix assemblage is satisfactorily reproduced. This may suggest effective bulk composition around growing garnet was significantly different from the XRF-derived bulk rock composition. The localized feature of eclogite-facies equilibration is also inferred from the observed microstructures such as Omp + Qz + Amp pseudomorphs (prograde symplectites) after igneous augite. We obtain the jadeite stability field in the calculated pseudosections by subtracting augite from the XRF-derived bulk composition. High chlorine contents of amphibole (<1.5 wt% Cl) and apatite (<7.0 wt% Cl) indicate that the eclogite-facies equilibration was triggered by an influx of saline fluids. Multi-equilibrium thermobarometry for the assemblage Grt + Omp + Ky + Ph + Ep + Qz gives metamorphic P-T conditions of around 2.3 GPa and 600 deg.C. The estimated high-P conditions are also supported by high residual pressure (max. delta omega-1 = 13.3 cm<sup>-1</sup>, equivalent to 0.85 GPa) of quartz inclusions in garnet. These results imply the presence of a significant metamorphic pressure gradient within the Iratsu body, and detailed baric structure of this region will be revealed by further application of the quartz-in-garnet barometry (Enami et al. 2007).

Reference: Deiner and Powell (2012) J Metam Geol 30, 113-130; Enami et al. (2007) Am Mineral 93, 1303-1315.

キーワード: エクロジャイト, 五良津岩体, 変斑れい岩, ひすい輝石, オンファス輝石

Keywords: eclogite, Iratsu body, jadeite, metagabbro, omphacite

## Metamorphism of garnet glaucophane schists from the Bizan area, Sambagawa metamorphic belt, eastern Shikoku, Japan

## Metamorphism of garnet glaucophane schists from the Bizan area, Sambagawa metamorphic belt, eastern Shikoku, Japan

Kabir Md Fazle<sup>1\*</sup>, Takasu Akira<sup>1</sup>, Nakamura Mayuko<sup>1</sup>, Kondo Yuki<sup>1</sup>, Kainuma Masaaki<sup>1</sup>  
Kabir Md Fazle<sup>1\*</sup>, Takasu Akira<sup>1</sup>, Nakamura Mayuko<sup>1</sup>, Kondo Yuki<sup>1</sup>, Kainuma Masaaki<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Geoscience, Shimane University, Japan

<sup>1</sup>Department of Geoscience, Shimane University, Japan

The Bizan area is located in the Tokushima Prefecture of eastern Shikoku, Japan and it is mainly composed of pelitic schists, basic schists and siliceous schists with minor garnet glaucophane schists. Faure (1983) suggested that there occur a melange with tectonic blocks of serpentinite, metagabbro and garnet-amphibolite (garnet glaucophane schists in this study) along the ductile shear zone between spotted and non-spotted zones in the Bizan area. Garnet glaucophane schists consist mainly of garnet, amphibole, epidote, phengite (Si 6.41-6.80 pfu), paragonite, chloritoid, chlorite, albite, rutile, titanite, ilmenite and quartz. A schistosity is defined by preferred orientation of glaucophane, phengite and chlorite.

Garnets are almandine-rich composition and display prograde growth zoning with decreasing  $X_{Spss}$  (0.18-0.01) and increasing  $X_{Alm}$  (0.54-0.70) from the core to the rim. The cores of garnet contain inclusions of chloritoid ( $X_{Mg}$  0.08-0.23), chlorite, epidote, phengite (Si 6.41-6.55 pfu), paragonite, titanite and quartz and polyphase inclusions of phengite + paragonite + epidote + chloritoid + chlorite + quartz assemblage. The rims of garnet contain inclusions of amphiboles (glaucophane; zoned amphibole with barroisite core and glaucophane rim), epidote and quartz and polyphase inclusions of glaucophane + epidote. Garnets are partly replaced by chlorite. Glaucophanes in the matrix contain inclusions of phengite, epidote, chlorite, titanite and quartz. Some of them are partly replaced by Wnc, Brs, Mg-Ktp and Act at their rims and cracks. Phengites (Si 6.50-6.80 pfu) in the matrix are contain inclusions of glaucophane, epidote and chlorite. Some large grains of epidotes and chlorites contain inclusions of glaucophane, phengite, epidote, titanite and quartz.

Textural relationship, mineral assemblage and thermobarometric results suggest a polyphase tectonometamorphic evolution of the garnet glaucophane schists. The mineral assemblages of polyphase inclusions within the cores of the garnet such as barroisitic amphiboles, chloritoid, chlorite, epidote, phengite, paragonite and quartz constrain the  $P-T$  conditions of a prograde stage at 450-500°C and 9-11 kbar (by THERMOCALC) at epidote-blueschist facies metamorphic conditions. The rims of the porphyroblastic garnets include inclusions of glaucophane, epidote, quartz and schistosity-forming matrix phengite suggesting the peak metamorphic mineral assemblages. THERMOCALC average  $P-T$  calculation suggests a metamorphic condition of the eclogite facies metamorphism of 550-600°C and 17-19 kbar. Porphyroblastic garnets are partly replaced by chlorite at their rims, and matrix glaucophanes are replaced by Wnc, Brs, Mg-Ktp and Act along rims and cracks suggests a retrograde metamorphism took place at the epidote-amphibolite facies to follow a clockwise decompression path.

Large grains of epidotes and chlorites in the matrix which contain peak metamorphic mineral assemblages of glaucophane, phengite, epidote and quartz suggesting another high-pressure prograde metamorphism took place. This high-pressure metamorphism can be correlated with the Sambagawa metamorphism in the Besshi area, central Shikoku (Aoya, 2001; Kabir and Takasu, 2010a, b).

The eclogite facies metamorphism followed by another high-pressure metamorphism as the Sambagawa metamorphism is first described from the garnet glaucophane schists in the Bizan area, Sambagawa metamorphic belt. The metamorphic evolution is similar to that of the eclogites in the Besshi area, central Shikoku (Kabir and Takasu, 2010a, b). Eclogite in the Sambagawa belt occurs mainly in the Besshi area, central Shikoku and slightly in the Kotsu area, eastern Shikoku. This study revealed that the occurrence of eclogites now extend to the Bizan area in eastern Shikoku.

### Reference:

Aoya (2001) *J Petrology*, 42, 1225-1248; Faure (1983) *J Geol Soc of Japan*, 89, 319-329. Kabir and Takasu (2010a) *J Meta Geol*, 28, 873-893; Kabir and Takasu (2010b) *Earth Sci*, 64, 183-192.

キーワード: Sambagawa metamorphic belt, garnet-glaucophane schist, eclogite, chloritoid, Bizan area, eastern Shikoku  
Keywords: Sambagawa metamorphic belt, garnet-glaucophane schist, eclogite, chloritoid, Bizan area, eastern Shikoku

## Metamorphic conditions of kyanite-garnet-chloritoid schists associated with eclogites in the Lake Zone, SW Mongolia

## Metamorphic conditions of kyanite-garnet-chloritoid schists associated with eclogites in the Lake Zone, SW Mongolia

Javkhlan Otgonkhuu<sup>1\*</sup>, Akira Takasu<sup>1</sup>, Batulzii Dash<sup>2</sup>, Md. Fazle Kabir<sup>1</sup>

OTGONKHUU, Javkhlan<sup>1\*</sup>, TAKASU, Akira<sup>1</sup>, Batulzii Dash<sup>2</sup>, Md. Fazle Kabir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Geoscience Dept. Shimane University, Japan, <sup>2</sup>Mongolian University of Science and Technology, Mongolia

<sup>1</sup>Geoscience Dept. Shimane University, Japan, <sup>2</sup>Mongolian University of Science and Technology, Mongolia

The kyanite-garnet-chloritoid schists associated with eclogites from the Alag Khadny metamorphic complex, Chandman district, Lake Zone, SW Mongolia, consist of garnet, chloritoid, muscovite, phengite, chlorite, paragonite, kyanite, rutile, ilmenite, zircon, quartz and carbonaceous matter. Garnets occur as subhedral to anhedral porphyroblast up to 5 mm across and they are almandine-rich variety in composition. The garnets are zoned with inclusion-rich cores and inclusion-poor rims. The garnets display a prograde pattern of compositional zoning,  $X_{SpS}$  decreasing and  $X_{Prp}$  increasing from core to rim. The cores contain inclusions of muscovite ( $Si=6.06-6.29$  cations per formula unit, *pfu*), paragonite, chlorite, chloritoid and quartz. The rims contain inclusions of kyanite ( $Fe_2O_3 < 1.24$  wt%;  $Cr_2O_3 < 0.03$  wt%), phengite ( $Si=6.40-6.63$  *pfu*), chloritoid ( $X_{Mg} [Mg/(Fe+Mg)]=0.08-0.18$ ), chlorite ( $X_{Mg} < 0.42$ ), and quartz. A well-developed schistosity is defined by preferred orientation of chloritoid ( $X_{Mg} = 0.11-0.21$ ), chlorite ( $X_{Mg} = 0.36-0.53$ ) and white micas [phengite ( $Si=6.57-6.63$  *pfu*) and muscovite ( $Si=6.23-6.34$  *pfu*)] in the matrix.

Based on the textural relationship and chemical composition of minerals, following metamorphic stages are distinguished in the kyanite-garnet-chloritoid schists, i.e. (i) pre-peak stage, (ii) peak metamorphic stage, and (iii) retrograde stage.

The porphyroblastic garnets represent a typical prograde zoning,  $X_{SpS}$  decreasing and  $X_{Prp}$  increasing from core to rim. The pre-peak stage (i) is defined by the mineral inclusions in the cores of the garnets. They are muscovite ( $Si=6.06-6.29$  *pfu*), paragonite, chlorite, chloritoid ( $X_{Mg}=0.08-0.13$ ) and quartz, and they indicate relatively low-pressure and low-temperature conditions such as the greenschist facies. The peak metamorphic stage (ii) is defined by the mineral assemblage of the inclusions in the rims ( $X_{Prp} < 0.13$ ) of the garnets, i.e. kyanite, phengite ( $Si=6.40-6.63$  *pfu*), chloritoid ( $X_{Mg}=0.08-0.18$ ), chlorite ( $X_{Mg}=0.42$ ), rutile and quartz, and schistosity forming minerals, i.e. chloritoid ( $X_{Mg} = 0.11-0.21$ ), phengite ( $Si=6.57-6.63$  *pfu*), and chlorite ( $X_{Mg}=0.36-0.53$ ) coexisting with the rims of porphyroblastic garnet. THERMOCALC (V. 3.33) (Powell and Holland, 1994) calculations for the rim of the garnet coexisting minerals of kyanite, phengite, chloritoid, and chlorite yielded P-T conditions of  $T=575-585^\circ C$  and  $P=10-11$  kbar of high-pressure epidote-amphibolite to low-pressure eclogite facies conditions of the high-pressure intermediate type metamorphism which are distinctly lower in metamorphic pressure than accompanied eclogites ( $T=590-610^\circ C$ ,  $P=20-22.5$  kbar; Stipska et al., 2010) even though the similar temperature conditions. However,  $^{40}Ar/^{39}Ar$  muscovite plateau ages of the eclogite ( $543 \pm 3.9$  Ma) and kyanite-garnet-chloritoid schist ( $537 \pm 2.7$  Ma) are similar (Stipska et al., 2010), indicating simultaneous exhumation of both metamorphic rocks to the crustal level. There is no evidence of high-pressure type metamorphic event similar to the eclogites in the kyanite-garnet-chloritoid schists. These fact suggest that subduction within low-geothermal gradient conditions to produce the eclogites occurred first, subsequently relatively high-geothermal gradient metamorphism for the kyanite-garnet-chloritoid schists took place, and then whole sequence of metamorphic rocks were exhume to the shallower levels at  $\sim 540$  Ma.

### Reference:

Powell, R. and Holland, T.J.B. (1994). Amer. Miner., 79, 120-133

Stipska, P., Schulmann, K., Lehmann, J., Corsini, J., Lexa, O. and Tomurhuu, D. (2010) J. of Meta. Geol., 28, 915-933

キーワード: Kyanite-garnet-chloritoid schist, Eclogite, Alag Khadny metamorphic complex, Lake Zone, Mongolia

Keywords: Kyanite-garnet-chloritoid schist, Eclogite, Alag Khadny metamorphic complex, Lake Zone, Mongolia

## 300-400 程度の石墨化度を示す炭質物のラマンスペクトルと反射率 Raman spectra and reflectances of carbonaceous matters showing graphitization temperatures at around 300 - 400 C

村田 雅美<sup>1\*</sup>, 佐藤 航<sup>1</sup>, 星野 健一<sup>2</sup>

MURATA, Masami<sup>1\*</sup>, Wataru Sato<sup>1</sup>, HOSHINO, Kenichi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 広島大学理学部, <sup>2</sup> 広島大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Fac. Sci., Hiroshima Univ., <sup>2</sup>Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ.

The degree of graphitization of carbonaceous matter (CM) has long been investigated using X-ray diffraction analyses, optical (reflectance) studies and Raman spectroscopies to analyze thermal histories of sedimentary rocks. Hirota and Hoshino (2007) noted that the degree of graphitization may reveal much detailed thermal histories than those recorded in the mineral assemblages. Komorek and Morga (2003) also demonstrated that the reflectances of CMs increased by only several hours heating in an oven. Therefore, we may expect the CM geothermometers for analyses of short-range thermal events such as dike intrusion, vein formation and faulting.

However, the thermometer using Raman spectrum of CM proposed by Beyssac et al. (2002) can be applied to the temperature range from 640 to 330 C with poor correlations at low temperatures. On the other hand, the thermometers by reflectance of CM ('vitrinite reflectance') are probably limited below 300 C (e.g., Hashimoto et al, 2004). Therefore, we have studied detailed characteristics of Raman spectra and reflectances of CMs showing their graphitization temperatures at around 300 - 400 C to investigate a future possibility of the CM geothermometer as a tool for analyses of the short-range thermal events.

We collected pelitic rock samples of the Kuga formation of the Jurassic accretion complex from the Yasaka contact aureole, Yamaguchi Prefecture, where the Hiroshima-type granite of the Cretaceous age intruded. Takami et al. (1993) classified the contact aureole into the cordierite zone (ca. < 1 km from the contact) and the biotite zone (1 - 2 km wide). Takami and Nishimura (2000) mentioned that the apparent d002 of CM decreases sharply in the biotite zone at around 1 km from the contact.

Two types of CM can be identified under microscopic observations of the collected rock samples. Hereafter, we may call them temporarily as M-type and P-type CMs. The former shows visible reflection pleochroism as well as anisotropism, while the latter does non- or weak ones. Therefore, the P-type CM is probably collinite for so-called 'vitrinite reflectance' measurements. They can be identified clearly also by their Raman spectra. The G bands of the P-type CMs are broad, while those of the M-type are characteristically narrow and sharp. It is interesting that the P-type CM could not be observed in the samples collected from the vicinities of the contact with granite.

The R2 ratio of the Raman spectrum of the M-type CM shows a systematic change with a distance from the contact. It increases from 0.47 (= 430 C, estimated from the equation of Beyssac et al., 2002) at Loc. 03 (0.1 km away from the contact) to 0.60 (370 C) at Loc. 10 (2.4 km). On the other hand, although the ratio of the P-type CM is the highest as 0.77 (300 C) at Loc. 10, the ratio in the other samples closer to the contact does not vary with the distance and is stable as 0.75 (310 C), implying the lower limit of the ratio of the P-type CM.

The P-type CM from Loc. 10 shows the lowest reflectance as 3.8 % (= 320 C, from the equation of Barker, 1988), while those from the other localities are around 4.7 % (350 C) and show no significant variation with the distance, implying also the upper limit of the reflectance of the P-type CM. Although the reflectance of the M-type CM is slightly higher than that of the P-type CM in the sample from Loc. 10, no obvious difference between the two could be seen in the other samples.

It should be emphasized that there may be a size dependency of the M-type CM on its R2 ratio in the samples close to the boundary, that is, a smaller CM tends to show a higher temperature. Hence, it can be expected to apply the R2 ratio of the M-type CM not only as a thermometer but also as a 'chronometer' for short-range thermal events.

An estimation of a P-T condition of the vein-formation in the footwall of the Nobeoka thrust will be presented as an example of the analyses of the thermal events.

キーワード: 炭質物, ラマン, 反射率, 地質温度計

Keywords: carbonaceous matter, Raman, reflectance, geothermometer

## 負の残留圧力を保持するざくろ石中の石英: 石英ラマン圧力計の高温変成岩への適用

### Study of negative residual pressure of quartz in garnet: Quartz Raman spectra of high-temperature metamorphic rocks

額 纈 佑 衣<sup>1\*</sup>, 榎 並 正 樹<sup>1</sup>, 池 田 剛<sup>2</sup>

KOUKETSU, Yui<sup>1\*</sup>, ENAMI, Masaki<sup>1</sup>, IKEDA, Takeshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup> 九州大学大学院理学研究院地球惑星科学部門

<sup>1</sup>Graduated School of Environmental study, Nagoya University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Science, Kyushu University

変成作用によって成長したざくろ石に取り込まれた石英は、地表に至るまでの温度圧力の変化に伴って体積変化が起きる。取り込まれた石英の体積が、周りのざくろ石の体積よりも大きくなる場合は圧縮応力が、逆に石英の体積の方が小さくなる場合は伸長応力が石英にかかり、残留圧力が保持される。石英のラマンスペクトルのピーク位置は圧縮応力によって高波数側に、伸長応力によって低波数側にシフトする。Enami et al. (2007, AM, 92, 1303-1315) は、いくつかの異なる変成圧力下で形成されたサンプル中のざくろ石に包有されている石英のラマンスペクトルのピークシフト度合( $\delta$ )を測定し、残留圧力を推定した。そして、残留圧力と変成圧力の間に正の相関があることを示した。数値計算モデルから、ざくろ石の化学組成や温度の依存性はほとんどないとされ、この手法は圧力計として使えることを提案した(石英ラマン圧力計)。熱力学モデルを用いた圧力計とは独立して圧力を見積もることが可能であるため、最近では、Kouketsu et al. (2010, JMPS, 105, 9-19) や Endo et al. (2012, JMG, in press) によって高压変成岩の圧力見積りの指標の一つとして適用されている。

近年、西山・相川(2011, JGUM, SMP046-05)によって、負の残留圧力を示すざくろ石中の石英包有物が肥後変成岩から報告された。Enami et al. (2007) で用いられている簡単な弾性相互作用モデル(Van der Molen, 1981, Tectonophysics, 73, 323-342)を用いた場合、負の残留圧力を得る温度圧力範囲はほとんどない。そこで彼らは、石英が高温で安定な相の状態ではざくろ石に包有された後、地表に露出する過程で相に相転移したため、石英の体積が急激に減少し、負の残留圧力を獲得したと解釈した。

本研究では、従来の石英ラマン圧力計では評価されていない負の残留圧力を保持する石英包有物についてさらに詳しく調べるため、高T/P条件で形成された柳井領家帯と東南極から採取された岩石について分析した。柳井領家帯変成岩については、Ikeda (2004, CMP, 146, 577-589)において詳細な温度圧力見積りがなされている5つの変成分帯(Chl-Bt, Ms-Crd, Kfs-Crd, Sill-Kfs, Grt-Crd zone)で採取されたサンプルそれぞれについて分析した。Chl-Bt, Ms-Crd, Kfs-Crd帯は - 石英が、Grt-Crd帯は - 石英が安定で、Sill-Kfs帯は - 相転移線の近傍である。東南極のサンプルは超高温変成作用を被っており相安定領域を経験している。

分析の結果、柳井領家帯変成岩のすべてのサンプル中のざくろ石に包有されている石英の残留圧力は同程度の負の残留圧力値( $\delta = -4 \sim -6 \text{ cm}^{-1}$ )を示した。また、東南極の片麻岩中に含まれるざくろ石斑晶中には、非常に低い残留圧力値( $\delta = -12 \text{ cm}^{-1}$ )を保持する石英が普遍的に含まれていた。この結果は、石英がざくろ石に取り込まれた状態が相でも相でも、負の残留圧力を保持することを意味する。すなわち、石英の負の残留圧力を相から相への相転移のためとした西山・相川(2011)の解釈では不十分であることを意味する。そこで従来の弾性モデルについて再検討した結果、石英が取り込まれた時の変成圧力と残留圧力の関係式は、Van der Molen (1981)のモデルでは不適切であり、Zhang (1998, EPSL, 157, 209-222)のモデルがより適切であることが明らかとなった。さらに、体積弾性率の圧力依存性と熱膨張係数の温度依存性の変化を考慮してモデルを改良した。

新しいモデルによって、石英が負の残留圧力を持つ条件が定性的にはあるが再現できた。そして、相が安定な条件下でざくろ石に包有された石英であっても負の残留圧力を保持する場合があることが示された。また、東南極の超高温変成岩は柳井領家帯変成岩よりも有意に低い残留圧力値を保持する点も再現できた。

キーワード: 負の残留応力, 石英ラマン圧力計, 高温変成岩, 包有物 - ホスト系, 弾性モデル

Keywords: negative residual pressure, quartz Raman barometer, high temperature metamorphism, inclusion-host system, elastic model

## 中央構造線ボーリングコアの脆性小断層における鉱物組成の統計解析結果と応力履歴との比較

### Correlation stress history with statistical analysis on mineral composition at small brittle fault in the borehole core

田中 伸明<sup>1\*</sup>, 藤本 光一郎<sup>1</sup>, 重松 紀生<sup>2</sup>

TANAKA, Nobuaki<sup>1\*</sup>, FUJIMOTO, Koichiro<sup>1</sup>, SHIGEMATSU, Norio<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京学芸大学, <sup>2</sup> 文部科学省

<sup>1</sup>Tokyo Gakugei University, <sup>2</sup>MEXT

日本の陸上で最大の断層である中央構造線(以下, MTL)は, 長い履歴を持ち, 延性領域から脆性領域までの異なる条件下で形成した断層岩が分布する。その解析は, 内陸地震や断層帯の発達史の解明につながる。

本研究が対象としている産総研の松阪飯高観測点の坑井(掘削長 600m)は, 東南海・南海地震予測のために掘削され, 掘削深度 473.9m で MTL を貫通し, 上盤に領家帯の花崗岩類, 下盤に三波川帯の変成岩が分布する。花崗岩類は, マイロナイト化の後, 正断層性の応力場(上下圧縮場及び南北展張場, 両者の順序は不明), 南北方向の圧縮場の順に, 脆性変形の応力場の変遷を経験し, 現在の応力場である東西方向の圧縮場へ至ったと推定されている(重松ほか, 日本地質学会第 117 年学術大会での講演, 2010)。しかしながら, 応力解析に用いられた脆性小断層 327 条のうち, 形成時の応力場が特定されているのは 153 条(上下圧縮場 52 条, 南北展張場 27 条, 南北圧縮場 37 条, 東西圧縮場 37 条)にとどまり, 残りのうち 127 条は候補となる応力場が 2 ないし 3 存在し, 47 条はいずれの応力場にも該当しなかった(田中ほか, 日本地質学会第 118 年学術大会での講演, 2011)。

本報告では, 形成時の応力場の候補が 2 ないし 3 存在する脆性小断層 127 条について, 断層物質の鉱物組成の統計解析を通じて応力場を特定することを試みた。

まず応力場が特定されている脆性小断層 129 条(上下圧縮場 44 条, 南北展張場 21 条, 南北圧縮場 35 条, 東西圧縮場 29 条)のすべり面から断層物質を採取し, X 線回折(以下, XRD)のピーク高さ比から導出された鉱物組成について多変量解析の一種である主成分分析を行なった。その結果, 断層物質の鉱物組成は「炭酸塩鉱物の析出を主体とする変質を被っているかないか」でほぼ説明できることがわかり, その基準で各試料の鉱物組成に評価値(以下, 主成分得点)を与えたところ, 断層物質は石英及び長石の多い試料と炭酸塩鉱物の多い試料とに二分された。前者は脆性小断層周囲の岩石の粉砕物, 後者は脆性小断層形成後の熱水変質での生成物がそれぞれ卓越する試料であると考えられる。炭酸塩鉱物の多い試料を各応力場から排除した上で各応力場間の主成分得点を比較したところ, 年代が新しくなって隆起に伴う温度低下が進むにつれ, 脆性小断層周囲で炭酸塩鉱物が増加していることがわかった。また, 重松ほか(2010)で不明であった上下圧縮場と南北展張場との順序について, 鉱物組成において炭酸塩鉱物が少ない上下圧縮場のほうが古いと推察された。

次に応力場の候補が 2 ないし 3 存在する脆性小断層 113 条のすべり面から断層物質を採取し, XRD のピーク高さ比から鉱物組成を導出し, 多変量解析の一種である判別分析を行なった。各試料の主成分得点を導出し, 候補となる応力場の主成分得点とのマハラノビスの距離を求め, その距離が最も小さくなる応力場に属すると推定した。その結果, 新たに 78 条について応力場が 1 つに特定され, 合計で 231 条(上下圧縮場 74 条, 南北展張場 46 条, 南北圧縮場 55 条, 東西圧縮場 56 条)となった。それを用いて応力場ごとに脆性小断層のヒストグラム(深度 5m 刻み)を作成したところ, 年代が新しくなって隆起に伴う温度低下が進むにつれ, 深度 473.9m の物質境界を中軸面とする脆性変形帯が狭くなっていく可能性が示唆された。

キーワード: 中央構造線, 断層, ボーリングコア, 鉱物組成, 統計解析, 応力履歴

Keywords: Median Tectonic Line, fault, borehole core, mineral composition, statistical analysis, stress history

## 伊那市長谷市野瀬地域の片麻状花崗岩と変成花崗岩 Gneissose tonalites and meta-granitoids in the Hase-Ichinose district of the Ina city, central Japan

小野 晃<sup>1\*</sup>

ONO, Akira<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> なし

<sup>1</sup> None

非持トータル岩が長谷市野瀬地域の中央構造線に沿って分布している(添付図 A, B)。この地域の非持トータル岩の岩相は非常に変化に富んでいるが、層状構造、縞状構造、片麻状組織などが普通に認められる。片麻状組織や片状組織の発達状況に注目すると、花崗岩質岩石は次の3種類に区分できる(1)塊状、層状および縞状のトータル岩(2)片麻状トータル岩(3)変成花崗岩。これらはそれぞれ(1)花崗岩そのもの(2)マグマの固結末期ごろに変形作用を受けた花崗岩(3)マグマ固結後の高温時期に変形・再結晶作用を受けた花崗岩である。これらの岩石の一部は鹿塩マイロナイトになっており、おもに添付図 B の黄色領域に分布している。

戸倉山東方の林道沿いなどでは、層状およびレンズ状の苦鉄質および珪長質岩石がしばしば褶曲しており、露頭規模の褶曲構造が複数の地点で推定される。縞状トータル岩では縞状構造が局所的に褶曲していることがある。また石英-長石脈に富む片麻状トータル岩では、しばしば石英-長石脈が局所的に著しく褶曲している。褶曲した脈が褶曲している場合もある。石英-長石脈の褶曲はマグマがほぼ固結した後も形成されていた可能性がある。その場合、変形作用に伴って火成鉱物が再結晶したかどうか問題になる。これに関して、強い片状組織、鉱物の定向配列および塑性変形された鉱物などは多くの場合認められない。したがって、固体状態下での再結晶作用はほとんど起きていないようにみえる。

変成花崗岩は著しい再結晶作用が認められる花崗岩質岩石であり、月蔵山(Gatsuzozan)変成岩と呼称されている[1, 2]。野外での判定基準は、強い剪断作用を示唆する方向性の強い変形や片理面の存在である[2]。月蔵山変成岩の再結晶作用について、その岩石学的確認は必ずしも容易ではない。その理由は、ほぼ完全に再結晶した変成花崗岩は少なく、普通は残存火成鉱物がかなり多いためである。たとえば、斜長石の粒子間での化学組成変動を変成トータル岩と比較的塊状のトータル岩の小岩片について調べたところ、前者は後者よりも分散度が小さく(添付図 C)、したがって、変成作用が推定できる。ただし、火成鉱物のカルシウムに富む大きい斜長石を無視しての判断である。

変成花崗岩と片麻状トータル岩との関係について、月蔵山西麓での観察によると、石英-長石脈を含む片麻状トータル岩が変成花崗岩に変化している。すなわち、石英-長石脈ではゾーニングした粗粒の斜長石は破断されているが化学組成の均質化はほとんど起きていない。一方、基質部分では斜長石の化学組成は粒子内部でも粒子間でもかなり均質化されていて、片理面もかなり顕著に発達している。したがって、石英-長石脈は変成作用以前にすでに存在していたと考えられる。

変成花崗岩の形成テクトニクスは固結していた高温の非持トータル岩全体に及んだと考えられる。実際に変成花崗岩と推定される岩石は各地に点在している。しかしながら典型的な変成花崗岩の産出例は少なく、広く分布している縞状、層状、塊状花崗岩には斜長石のゾーニングや斜長石粒子間での大きな化学組成変動が認められる。この理由としては(1)変形作用が起きた所が限定的であったことや(2)変形作用が生じた温度と花崗岩質マグマの固結温度との差が小さく、火成鉱物の化学組成を変える駆動力が小さかったことなどが考えられる。

[1] 小野, 2008, 日本地質学会第115年学術大会, p. 243.

[2] 小野, 2009, 日本地質学会第116年学術大会, p. 259.

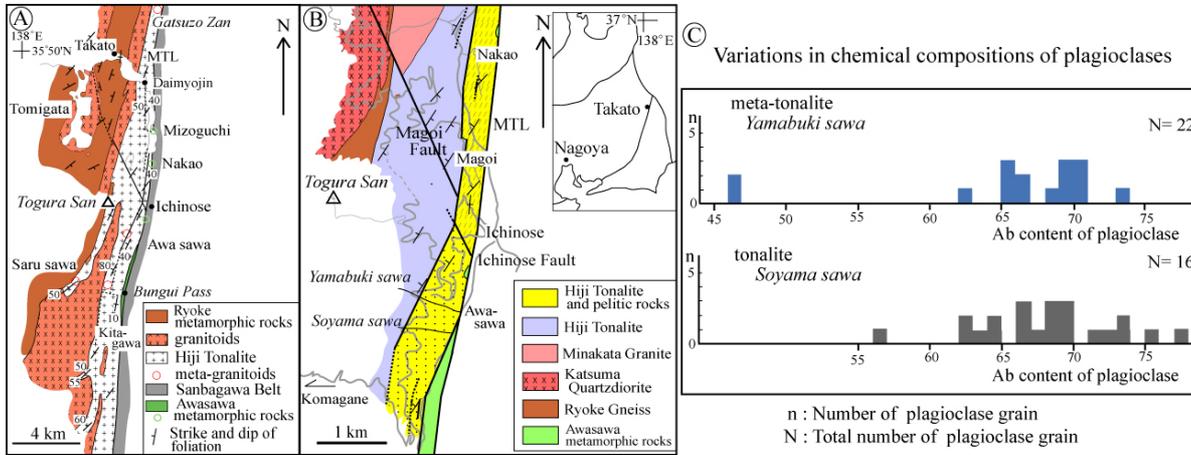
キーワード: 片麻状花崗岩, 変成花崗岩, 非持トータル岩, 月蔵山変成岩, 再結晶作用, 長谷市野瀬

Keywords: gneissose granitoid, meta-granitoid, Hiji tonalite, Gatsuzozan metamorphic rocks, recrystallization, Hase-Ichinose

SMP46-P01

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 15:30-17:00



北海道幌加内町江丹別 幌加内地域の神居古潭変成岩中のテクトニックブロックの  
温度圧力履歴 (予察)  
P-T paths of tectonic blocks in the Kamuikotan metamorphic rocks, Etanbetsu-Horokanai  
district, Hokkaido

岡本 あゆみ<sup>1</sup>, 竹下 徹<sup>1\*</sup>

OKAMOTO, Ayumi<sup>1</sup>, TAKESHITA, Toru<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 北海道大学

<sup>1</sup>Hokkaido University

神居古潭変成岩は、白亜紀に形成された付加体起源の典型的な高圧型 (high-P/T type) 変成岩であるが、そのテクトニクスは十分解明されていないほか、1980年代までにまとまった研究が行われて以降は、本格的な研究は殆ど行われずに現在に至っている。調査地域の江丹別 幌加内地域の神居古潭変成岩は従来ローソン石と藍閃石の組み合わせで特徴付けられるとされ、最も高圧の変成作用を被ったユニットとされている (例えば Sakakibara and Ota, 1994)。一方、この地域では付加体が高圧型変成作用を被った岩石 (prograde rocks) に対して、エピドート角閃岩およびエピドート-ザクロ石角閃岩と言った最初にエピドート-角閃岩相の変成作用 (中圧型変成作用) を受けていた岩石が、後に低温条件で高圧型変成作用を受けた岩石 (retrograde rocks) が知られており (Ishizuka and Imaizumi, 1980; Ishizuka et al., 1983)、これらの岩石は神居古潭変成岩に構造岩塊として含まれている。角閃岩の原岩は層状はんれい岩であると推定されていて、低圧型の変成作用を被った幌加内オフィオライトとは少し異なるが、類似する岩石である。また、本地域に普遍的に産する青色片岩 (玄武岩起源) は彼らによると prograde rocks に分類されているが、後述するように角閃岩と青色片岩はもともと一連の層序を構成していた岩石である可能性がある。そうならば、これらの岩石は海洋地殻を構成していたはんれい岩 玄武岩 (オフィオライト) が、神居古潭変成岩を形成した沈み込みの際に造構侵食で沈み込み帯に混入し、高圧型変成作用を受けたと考えられる。

我々は今回江丹別 幌加内地域から角閃岩および青色片岩のテクトニックブロックを採取し、鉱物組み合わせの記載を行ったほか、特に角閃石の組成累帯構造を EPMA で解析した。その結果、江丹別峠の北方で得られた2つの青色片岩の内、1つの青色片岩 (転石) 中の角閃石はコアがアクチノ閃石 ( $Al(IV)=0.17-0.33$ ,  $Na(B)=0.38-0.43$ )、リムが藍閃石 ( $Al(IV)=0.003-0.024$ ,  $Na(B)=1.81-1.86$ ) という累帯構造を示し、またもう1つの青色片岩 (露頭) 中の角閃石は全体がほぼウインチ閃石 ( $Al(IV)=0.17-0.30$ ,  $Na(B)=0.69-1.26$ ) の組成を示し、殆ど組成累帯構造を示さないことが明らかとなった。一方、幌加内峠から採取した角閃岩中の角閃石では、コアがアクチノ閃石~アクチノ閃石質ホルンブレンド ( $Al(IV)=0.33-0.71$ ,  $Na(B)=0.09-0.40$ ) で薄いリムが藍閃石 ( $Al(IV)=0.009-0.079$ ,  $Na(B)=1.39-1.85$ ) である。また、EPMA測定は行っていないが、青色片岩 (露頭) 中のそれは、江丹別峠で得られたものと全く同様の組成累帯構造を示す。したがって、角閃岩と青色片岩中の角閃石はほぼ同様の組成累帯構造を示しており、一連のオフィオライトからもたらされた可能性がある。さらにエピドートについて、顕微鏡下観察では、著しく破壊されマイクロフィーデンとなっているエピドートと、自形を示すものが区分され、少なくともエピドートの形成時期がこれらの岩石中で2回あったことが明らかとなった。今後、エピドートのピスタサイト成分の変化を解析することにより、P-T履歴と変形作用の関係が推定されると予想される。

キーワード: 神居古潭変成岩, 高圧型変成作用, テクトニックブロック, 造構侵食, 角閃石の組成累帯構造, 温度-圧力履歴  
Keywords: Kamuikotan metamorphic rocks, high-P/T type metamorphism, tectonic blocks, tectonic erosion, compositional zoning in amphibole, pressure-temperature paths

## 北海道旭川市西部神居古潭変成岩中の変形時相と古応力場解析 Analyses of deformation stages and paleostress in the Kamuikotan metamorphic rocks, west of the Asahikawa-city, Hokkaido

中山 貴仁<sup>1\*</sup>, 竹下 徹<sup>1</sup>, 岡本 あゆみ<sup>1</sup>NAKAYAMA, Takahito<sup>1\*</sup>, TAKESHITA, Toru<sup>1</sup>, OKAMOTO, Ayumi<sup>1</sup><sup>1</sup> 北海道大学<sup>1</sup>Hokkaido University

北海道中央部に分布する神居古潭帯は、中生代白亜紀のユーラシア大陸と、その縁辺に沈み込む海洋プレートとの収束境界で発達した、典型的な high-P/T 型の変成帯である。本研究の対象となっている旭川市西部の神居古潭峡谷地域に露出する変成岩中には、片理・褶曲などの構造がよく発達しており、さらに多くの石英脈が認められる。本研究では、まず野外にてこれらの構造の観察・測定を行なった。その結果、当研究地域では、岡本 (2011, 卒論) で提案されているような、最低3段階の変形ステージ (D1, D2, D3) が存在することが、ステレオネットを用いた片理面方位の解析から確認出来た。具体的には、D1 は主要な片理 (S1) が形成されたステージと定義される。主要な片理 (S1) は南北から北北東-南南西方向で南に低角でプランジする軸について、東フェルゲンツの閉じた褶曲を形成しており、この褶曲形成ステージが D2 と定義される。さらに、S1 は、ほぼ垂直な軸で東西方向の軸面を持つ開いた褶曲を形成しており、試料スケールではこの褶曲は D2 褶曲に重複していることが観察される。この褶曲を形成したステージを D3 と定義する。また、D2 褶曲が卓越した露頭において石英脈の極方位を測定したところ、D2 褶曲軸面に対し斜方対称的な分布を示した。この事実は、石英脈のへい入が D2 褶曲を形成した応力場の下で生じたことを示す。さらに、片理面と平行に形成され、D2 褶曲を受けていない石英脈の試料を採取し、試料座標系を、X: 東西方向で東に 15° プランジした方向、Y: 北水平方向、Z: 東西方向で東に 75° 上方プランジした方向と定め、以下に示す3種類の石英の変形微細構造解析を行なった。石英粒子中の変形ラメラの極は、c 軸方位から見て 3 方向に相対的に回転している。このことを用いて、c 軸方位からラメラ極へ引いた矢印の分布を調べることで、1 および 3 方位の推定を行なえる (ラメラ法)。この結果、矢印は XZ 面で-X に 0-60° プランジする方位に収束した。また、鏡下で波動消光として確認出来るキンクバンドは、c 軸が 1 と 3 の中間的方位にある (すべり面に剪断応力が強くかかる方向に向いている) 粒子において形成されやすく、c 軸が主応力方位を向く場合に形成されにくい。この事実に基づき、キンクバンドを持つ粒子・持たない粒子の c 軸方位分布から、主応力軸方位を推定出来る (キンク法)。この結果、キンクバンドを持つ粒子の c 軸は、Y 軸を中心とした角半径約 45° の小円ガードル状の分布を示し、キンクバンドを持たない粒子では、XZ 面で-X から 20-30° プランジした方向に c 軸分布がやや集中した。石英粒子中のマイクロヒールドクラックは、理想的には 3 と垂直に形成されるため、クラックの極方位分布から 3 方位を推定出来る。測定の結果、クラックの極方位分布にばらつきはありながらも、XZ 面で-X から 40° プランジした方位に最大集中域の中心がある。ただし、集中域は 10° と 70° プランジした 2 つの方位に分離している。以上から、D3 期の古応力状態は、ほぼ南北・水平方向に 1 (最大主応力)、鉛直方向に 2 (中間主応力)、東西方向に 3 (最小主応力) というものであったと推定出来た。また、D3 期に形成されたと考えられる石英脈を構成する石英中に存在する流体包有物の充てん温度を測定した結果、142-176 °C の範囲を示した。一方、凍結温度は 0 °C に近いので、純粋な水のアイソコアの傾き (76 °C/kb) を用いて、これらの流体包有物のトラップ時の圧力条件は約 1.6-2.1 kb であったと推定出来た。ここで、トラップ時の温度条件は、石英中に脆性および塑性変形の両方の微細構造が認められることから、脆性-塑性転移点付近の 300 °C であったと仮定した。この D3 期の流体のトラップ圧力は、岡本 (2011, 卒論) により D2 期の流体包有物の充てん温度 (100-143 °C) から推定されたもの (約 2.5 kb) と比較して、有意に低い値である。このことは、上昇過程において形成されたとされる D2 と D3 変形ステージの前後関係が、やはり D2 から D3 という順であるということを示しているほか、D2 から D3 にかけて 0.5-1.0 kb (1.5-3 km) の上昇があったことを具体的に示す。

キーワード: 神居古潭変成岩, 変形時相解析, 古応力場解析, 石英の変形微細構造, ヒールドマイクロクラック, 流体包有物  
Keywords: Kamuikotan metamorphic rocks, deformation stage analyses, paleostress analyses, deformation microstructures in quartz, healed microcrack, fluid inclusion

## 四国三波川高圧変成岩のウェッジエクストルージョン、OST、デュープレックス、また三波川のノッカープロブレム Wedge extrusion followed by out-of-sequence thrusting and duplexing, and solving knocker problem, the Sambagawa HP-LT sc

遅沢 壮一<sup>1\*</sup>

OSOZAWA, Soichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 東北大学理学研究科地学専攻, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, California State University, Fresno

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Graduate School of Science, Tohoku University, <sup>2</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, California State University, Fresno

西条市の加茂川から三次市の祖谷溪まで、点紋高度変成岩と大歩危砂質変岩を含む広範囲の地域について、5万か10万分の1のカラー地質図が、四国中央部三波川変成帯の地質として、簡単な解説書とともに、愛媛県総合科学博物館(新居浜市)から、発刊予定である。これは科研費基盤Cの成果報告所を兼ねている。この地域の詳細な地質調査は、多くの研究で指標図となっている東野(1990)以来で、新たな指標図として、用いられることを望んでいる。縮小版のpdfとaiファイルをメール頂ければ提供しますので、ぜひ引用のうえ、ご使用下さい。

地質の詳細は英文参照。OSTは高度変成岩(三波川変成岩)と、大歩危砂質変岩を含むAoki et al.(2010)の四万十変成岩の、むしろ境界断層としてフィットする。ただし、御荷鉾オフィオライトとの境界は露出不良で依然、関係が分からない。また、高度変成岩と四万十変成岩の、二重のエクスヒューメーションを想定することは容易でない。一方、エクロジャイトの初生変成構造は花崗変晶質で、御荷鉾オフィオライトのメタモルフィックソール由来の、珪質変岩などと同じく、堆積性メラランジェ由来と見なしている。

キーワード: 三波川高圧変成岩, exhumation, extrusional wedge, out-of-sequence thrust, duplex, エクロジャイト

Keywords: Sambagawa HP-LT metamorphic rocks, exhumation, extrusional wedge, out-of-sequence thrust, duplex, eclogite

## アフリカ南部キンバーライトカンラン岩捕獲岩の構造岩石学的特徴 Microstructural analysis of peridotite xenoliths from Kimberley and Lesotho kimberlite pipes in South Africa

梅垣 俊哉<sup>1\*</sup>, 木野雅史<sup>1</sup>, 道林 克禎<sup>1</sup>, 片山郁夫<sup>2</sup>, 小宮 剛<sup>3</sup>

UMEGAKI, Toshiya<sup>1\*</sup>, Masashi Kino<sup>1</sup>, MICHIBAYASHI, Katsuyoshi<sup>1</sup>, Ikuo Katayama<sup>2</sup>, KOMIYA, Tsuyoshi<sup>3</sup>

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

<sup>1</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University, <sup>2</sup>Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University,

<sup>3</sup>Department of Earth Science & Astronomy, University of Tokyo

Kimberlite pipes carry peridotite xenoliths derived from the deep upper mantle (70-250 km) beneath Archean cratons. Such xenoliths contain well-developed deformation microstructures. This study presents microstructures of peridotite xenoliths from two kimberlite pipes in South Africa: Kimberley and Lesotho.

The peridotite xenoliths of Kimberley kimberlite pipe consist of lherzolite, harzburgite and dunite. The lherzolites consist of olivine, orthopyroxene, garnet and clinopyroxene. The harzburgites consist of olivine, orthopyroxene, garnet and a minor amount of clinopyroxene. A small amount of phlogopite occurs in both rocks. These rocks are texturally divided into two types: coarse granular (granular type) and extensively sheared peridotites having obvious foliations (foliated type). The granular type peridotites show equigranular textures with slightly curved grain boundaries. The foliated type peridotites show porphyroclastic textures, which consist of coarse-grained porphyroclasts and very fine-grained neoblast matrix. These peridotites display no visible evidence of extensive metasomatism, but show some secondary serpentine alterations along grain boundaries. Major-element compositions of minerals were determined by an electron probe microanalyzer (EPMA). Mineral chemistries for the lherzolites and the harzburgites indicate that these mantle rocks were equilibrated at similar P-T conditions regardless of their texture types. Olivine crystal-preferred orientations (CPOs) were measured in highly polished XZ thin sections using a scanning electron microscope (SEM: Hitachi S-3400N) equipped with electron back-scattered diffraction (EBSD: Oxford-HKL Channel5). The peridotite xenoliths show various olivine CPO patterns.

The peridotite xenoliths of Lesotho kimberlite pipe are grouped into two types: coarse granular type and small-grained elongated type. Olivine CPOs show intense concentrations of [010] axes normal to the foliation, with girdles of [100] and [001] axes within the plane of the foliation (AG type). In particular, the small-grained elongated peridotites show strong concentration of [010] axes. This CPO pattern may result from axial shortening. The coarse granular peridotite shows higher equilibrium temperatures than those for the small-grained elongated peridotites. It suggests that the cratonic mantle beneath Lesotho may contain a domain where the coarse peridotites alternate with the small-grained elongated peridotites at around 150 km deep.

キーワード: キンバーライト, カンラン岩捕獲岩, 微細構造, 結晶方位解析

Keywords: Kimberlite, Peridotite xenoliths, microstructure, crystal fabric analysis

## 大阪府南部，神於山マイロナイト帯における歪の局所化過程 Strain localization in the Konoyama mylonite zone, SW Japan

前田 純伶<sup>1\*</sup>, 奥平 敬元<sup>2</sup>

MAEDA, Sumire<sup>1\*</sup>, OKUDAIRA, Takamoto<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 大阪市立大学理学部, <sup>2</sup> 大阪市立大学大学院理学研究科

<sup>1</sup>Faculty of Science, Osaka City University, <sup>2</sup>Graduate School of Science, Osaka City University

大阪府岸和田市内畑町～河合町に産する神於山マイロナイト帯はプロトマイロナイトからウルトラマイロナイトへと変化していく様子が広範囲で認められ、地殻中部における延性剪断帯の発達過程の研究には最適な試料である。地殻中部において形成される延性剪断帯は通常、中心部と周縁部に歪の違いが見られる。この違いの原因として、変形の継続時間の違い、または差応力・歪速度の違いが考えられる。これらを識別する為には、歪の違う岩相毎に変形した年代を知る事が必要である。しかし、通常の年代測定法では、期待される年代差よりも年代測定による誤差が大きいため、検出は不可能である。そのため、本研究は、鉱物組み合わせと黒雲母を使った地質温度計を用いることで、岩石の変形作用時期の差異を検出する目的で行われた。調査地域において、最も変形度の高いウルトラマイロナイトにのみ、緑泥石が黒雲母とともに変形構造を構成していた。このことから、ウルトラマイロナイトは300～500℃で形成されたことが示唆された。マイロナイトには、そのような緑泥石が入っていないため、ウルトラマイロナイトよりも高温で変形したと考えられる。よって、ウルトラマイロナイトとマイロナイトでは変形作用の時期が異なっていたことが示唆される。SEM-EDSを用いた黒雲母の化学分析値から、温度を求めたところ、火成作用起源の黒雲母よりも再結晶黒雲母のほうが、温度条件が低い時に形成され、特に変形度の高いウルトラマイロナイトに含まれる再結晶黒雲母は最も低い温度条件下で形成されたことがわかった。これは鉱物組み合わせの変化と調和的である。このことから、歪速度の差はわからないが、ウルトラマイロナイトと他の変形度の岩相では、変形作用時期が異なっており、他の岩相よりも、変形が長く継続していた可能性が高い。よって、神於山マイロナイト帯において、歪の局所化過程は変形の継続時間の違いにより生じた可能性が高いことが示唆された。

キーワード: マイロナイト, 剪断帯, 黒雲母

Keywords: mylonite, shear zone, biotite

## モンゴル中央部, バヤンホンゴル地域に産出する変成岩類の岩石学的・年代学的解析

### Petrology and geochronology of metamorphic rocks in the Bayankhongor area, the central part of Mongolia.

足立 達朗<sup>1\*</sup>, 小山内 康人<sup>1</sup>, 中野 伸彦<sup>1</sup>, 大和田 正明<sup>2</sup>, Madhusoodhan Satish-Kumar<sup>3</sup>, Sereenen Jargalan<sup>4</sup>, Boldbaatar Chimedtseye<sup>5</sup>, 米村 和紘<sup>1</sup>, 吉本 紋<sup>1</sup>

ADACHI, Tatsuro<sup>1\*</sup>, OSANAI, Yasuhito<sup>1</sup>, NAKANO, Nobuhiko<sup>1</sup>, OWADA, Masaaki<sup>2</sup>, MADHUSOODHAN, Satish-Kumar<sup>3</sup>, SEREENEN, Jargalan<sup>4</sup>, Chimedtseye Boldbaatar<sup>5</sup>, Kazuhiro Yonemura<sup>1</sup>, Aya Yoshimoto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>山口大学, <sup>3</sup>静岡大学, <sup>4</sup>モンゴル科学技術大学, <sup>5</sup>モンゴル鉱物資源石油管理庁

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Yamaguchi University, <sup>3</sup>Shizuoka University, <sup>4</sup>Mongolian Univ. Sci. Tech, <sup>5</sup>Miner. Res. Auth. Mongolia

Mongolia is situated in the Central Asian Orogenic Belt (e.g. Mossakovsky et al., 1993), which extends from the Siberian craton, Baltica craton, North China craton and Tarim craton. It is composed of subduction-accretion complexes and developed from c. 1000 Ma to c. 250 Ma (Windley et al., 2007). Metamorphic rocks are partly distributed in the central and western part of Mongolia. Metamorphic history would be a key for understanding the tectonic evolution of this area, however detailed study on metamorphic rocks has not been well-documented, including geochronology. In this study, we report petrology and U-Pb monazite and zircon ages on metamorphic rocks occurring in the Bayankhongor area.

The Bayankhongor area is situated between Gobi-Altai range and Hangay range in the central part of Mongolia. The area is mainly composed of granitic gneisses (biotite gneiss and clinopyroxene-biotite gneiss), amphibolites and pelitic gneisses. Pelitic gneisses are classified into garnet-biotite gneiss, garnet-sillimanite-biotite gneiss and garnet-cordierite-biotite gneiss. Garnet in garnet-cordierite-biotite gneiss is replaced by cordierite and biotite, indicating decompression process. Sillimanite in garnet-sillimanite-biotite gneiss is replaced by andalusite, which also indicates later stage metamorphism under the lower pressure condition. Amphibolites are classified into garnet-amphibolite, clinopyroxene-amphibolite and amphibolite. Garnet in garnet-amphibolite is replaced by plagioclase and hornblende, which qualitatively imply decompression as well as pelitic gneisses. Thus, metamorphic rocks in the Bayankhongor area widely recorded amphibolite- to upper amphibolite-facies metamorphism with subsequent decompression.

In the presentation, we show additional data including mineral chemistry, P-T estimations and U-Th-Pb in situ dating and discuss metamorphic evolution of the Bayankhongor area. Based on the interpretation of those data, we suggest its implication for the tectonic process related to the development of the Asia continent.

#### References

Mossakovsky et al. (1993) Central Asian fold belt: geodynamic evolution and history of formation. *Geotectonics*, 6, 3-33.

Nakano et al. (2010) Metamorphic rocks from the Mongol-Altai: A first report of Japan-Mongolia Joint Geological Research (2009-2013). *Journal of Geological Society of Japan*, XI-XII.

Windley et al. (2007) Tectonic models for accretion of the Central Asian Orogenic Belt. *Journal of the Geological Society*, London, 164, 31-47.

キーワード: 変成岩, 温度圧力経路, ウラン 鉛年代, バヤンホンゴル地域, モンゴル

Keywords: metamorphic rock, P-T condition, U-Pb dating, Bayankhongor Area, Mongolia

## ざくろ石輝岩中のケリファイトの初生構造と二次的改変：流体侵入に誘発された再結晶？ - ロンダかんらん岩（スペイン）での検証

### A primary and secondarily-modified microstructure of kelyphites in garnet pyroxenites from the Ronda peridotite, Spain

小畑 正明<sup>1\*</sup>

OBATA, Masaaki<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 京都大学大学院理学研究科地球惑星科学専攻

<sup>1</sup> Kyoto University

ざくろ石の分解生成物であるケリファイトは、その細粒であることからくる反応応答性の良さ故に、岩石の被った熱史、再結晶過程の痕跡をその中に記録している可能性がある。このような観点から複雑な構造をもつサンプルとして、スペインの Ronda かんらん岩体に産するざくろ石輝岩（サンプル R127）中の複雑な鉱物学的累帯構造を有するケリファイトを取り上げ再検討を加えた (Obata, 1994)。このケリファイトはざくろ石側から、Opx+Pl+Sp 帯 (Zone I)、Ol+Pl+Sp 帯 (Zone II)、そして初生的 Cpx の縁に発達する粗粒な Ol+Pl 帯 (Zone III) というように帯状配列をしていると報告されていた。筆者はかつてこのような組織を、ざくろ石と単斜輝石の反応対の間に生じた反応縁であると解釈し、鉱物配列とバルク組成のデータをもとにこれら 3 つのゾーンが同時に並行して形成したという定常反応拡散モデルを提唱した (Obata, 1994)。しかし同岩体の別のレイヤーを形成するざくろ石輝岩のケリファイトには Zone II, III を欠くもの、すなわち、Opx+Pl+Sp (Zone I) のみからなる単純な構造をしたケリファイトも存在することも知られていた。決定的な新事実 R127 の Zone I と Zone II 中に少量ながらも極細粒 (1 ミクロン以下) の Cpx が存在することが、FE-SEM と EBSD の併用により、確認出来たことである。これにより、この反応縁が、斜長石レルゾライト相で一度に形成したというモデル (Obata, 1994) が成り立たなくなった。これら異なった構造のケリファイトをより詳細に比較検討する過程で、Opx, Pl, Sp ± Cpx からなる単純構造ケリファイトが初生的なものであり、筆者がかつて記載した Zone II と Zone III は、Zone I と初生単斜輝石の間で二次的に形成した反応縁であると考えたほうが、より多くの観察事実を説明することができる。Cpx の存在から Zone I の形成はスピネルかんらん岩相 (ことに Seiland subfacies, O'Hara, 1967) で起こったと考えられる。一方 Zone II, Zone III ではかんらん石-斜長石の組み合わせが安定であることから、これらの反応帯の形成は斜長石かんらん岩相で起こったと考えられる。従って Zone II, III の形成は、Zone I の形成よりは後のステージの、より浅所で起こった、時間的に隔たった異なったイベントであったことが結論できるようになった。また両反応ともに反応帯のバルク組成の改変を起こし、元素の長距離移動を伴うことから、流体の活動を媒介とするものであったと考えられる。これら輝岩レイヤーを含むホストのざくろ石かんらん岩においてもざくろ石のケリファイト化は広汎に起こっており、ここでも流体活動の痕跡を認めることが出来る。このように、ケリファイトの微細構造に刻印された、おそらく流体の活動によって引き起こされた再結晶過程を異なる岩相間で詳細に照合することにより、一つの岩体の中での流体活動を、時間的・空間的広がりの中で追跡する新たな研究手法が可能になるであろう。

Obata, M. (1994) Material transfer and local equilibria in a zoned kelyphite from a garnet pyroxenite, Ronda Spain. *J. Petrology*, 35, 271-287.

O'Hara, M. (1967) Mineral facies in ultrabasic rocks. In Wyllie, P. J. (Ed) *Ultramafic and related rocks*. John Wiley & Sons, Inc. New York, pp. 464.

キーワード: ケリファイト, ざくろ石, 反応帯, 流体, ロンダかんらん岩

Keywords: kelyphite, garnet, reaction zone, fluid, Ronda peridotite

## 山梨県西部における糸魚川 - 静岡構造線の断層運動像

### Fault kinematics along the Itoigawa - Shizuoka Tectonic Line in western Yamanashi

風戸 良仁<sup>1</sup>, 金川 久一<sup>1\*</sup>

KAZATO, Yoshihito<sup>1</sup>, KANAGAWA, Kyuichi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> 千葉大学理学研究科地球科学コース

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Chiba University

山梨県西部の鳳凰山東麓域および早川流域に露出する糸魚川 - 静岡構造線（糸 - 静岡線）沿いに分布する断層岩類の変形構造観察・解析に基づき、糸 - 静岡線の過去の断層運動を推定した。

鳳凰山東麓域では、糸 - 静岡線は北部と南部で NNW-SSE 走向、中部で NNE-SSW 走向で、45-60°程度西側に傾斜しており、15 Ma 頃に貫入した甲斐駒ヶ岳 - 鳳凰花崗岩体と中新世巨摩層群桃ノ木亜層群の地質境界を成している。花崗岩体は糸 - 静岡線付近でマイロナイト化しており、変形微細構造から NW - SE 方向の逆断層運動が推定される。石英の変形微細構造から推定されたマイロナイト形成時の温度と、K-Ar 年代から推定された花崗岩体の冷却史（佐藤ほか、1989）から、マイロナイト化を伴うこの逆断層運動は 12-13 Ma 頃に起こったと推定される。また、断層沿いのカタクレーサイトには左横ずれ運動を示唆する構造が認められるほか、ガウジには高角の逆断層運動を示唆する構造が認められる。

一方、早川流域では糸 - 静岡線は NNW 走向・高角西傾斜で、スレート劈開の発達する始新世 - 中新世の四万十帯瀬戸川層群と、主に火砕岩からなる中新世巨摩層群櫛形山亜層群の地質境界を成す。糸 - 静岡線近傍の瀬戸川層群のスレートには、15 Ma 頃のスレート劈開形成時の WNW - ESE 方向の高角逆断層運動を示す非対称構造が見出されるほか、その後の低角左横ずれ運動を示す非対称構造が発達している。スレート中の石英脈の変形微細構造から推定された変形時の温度と、碎屑性ジルコンのフィッシュトラック年代から求められた冷却史（山際ほか、1997）から、断層運動が逆断層運動から左横ずれ運動に変化したのは 13 Ma 頃と推定される。断層沿いのカタクレーサイトには一部を除いて左横ずれセンスを示す構造が認められるほか、ガウジには W - E 方向の逆断層運動を示す構造が認められる。断層ガウジの K-Ar 年代から、この逆断層運動は 7 Ma 以後と考えられる。

以上を総合すると、山梨県西部の糸 - 静岡線沿いの断層運動は、流動的な変形を伴う逆断層運動 - カタクレーサイト形成を伴う左横ずれ断層運動 - ガウジ形成を伴う逆断層運動の 3 つのステージに分けられ、この順に断層運動の温度圧力条件も低下したと考えられる。但し、上述の年代値より、流動的な逆断層運動からカタクレーサイト形成を伴う左横ずれ断層運動へ変化した時期は、早川流域の方が 1 Ma ほど早かったと考えられる。これは伊豆弧の本州弧への衝突が南方から始まり、その影響が北方へ伝播していったことに起因していると考えられる。

キーワード: 糸魚川 - 静岡構造線, 山梨県西部, 断層運動像

Keywords: Itoigawa - Shizuoka Tectonic Line, western Yamanashi, fault kinematics

## グアテマラ・北部モタグア断層帯のテクトニックブロックの二回の沈み込み 上昇サイクル

### Two burial-exhumation cycles of tectonic blocks from the northern Montague fault zone, Guatemala

遠藤 俊祐<sup>1\*</sup>, ウォリス サイモン<sup>1</sup>, ソラリ ルイジ<sup>2</sup>  
ENDO, Shunsuke<sup>1\*</sup>, Simon R. Wallis<sup>1</sup>, Luigi A. Solari<sup>2</sup>

<sup>1</sup>名古屋大学, <sup>2</sup>メキシコ国立自治大学

<sup>1</sup>Nagoya University, <sup>2</sup>Universidad Nacional Autonoma de Mexico

The Motagua fault zone (MFZ) of central Guatemala is a sinistral suture between the Maya Block (North American Plate) and the Chortis Block (Caribbean Plate). High-P tectonic blocks occur in serpentinite-matrix melanges exposed immediately north and south of the MFZ. The northern MFZ (NMFZ) melange hosts warm-subduction related blocks of epidote eclogite and garnet amphibolite, whereas the southern MFZ (SMFZ) melange includes cool-subduction related blocks of lawsonite eclogite and blueschist. Both the NMFZ and SMFZ eclogites give indistinguishable Sm-Nd garnet-omphacite isochron ages of around 140-130 Ma (Brueckner et al. 2009), but K-Ar phengite ages of the NMFZ high-P blocks (77-65 Ma) are significantly younger than those of the SMFZ high-P blocks (125-116 Ma) (Harlow et al. 2004). Further petrological study especially on the NMFZ high-P blocks is needed to interpret the available age data, and hence to understand the tectonic evolution of this region. We present detailed petrological data of garnet amphibolite from the NMFZ melange exposed at Estancia de La Virgen.

Single garnet crystals in the studied sample consist of four distinct growth zones (Grt1, Grt2, Grt3 and Grt4) and grossular inclusions. Compositions of the four garnet generations are: Grt1 (Alm<sub>44-52</sub> Sps<sub>5-13</sub> Prp<sub>5-6</sub> Grs<sub>28-41</sub>), Grt2 (Alm<sub>37-43</sub> Sps<sub>8-16</sub> Prp<sub>1-2</sub> Grs<sub>41-51</sub>), Grt3 (Alm<sub>48-53</sub> Sps<sub>3-4</sub> Prp<sub>3-6</sub> Grs<sub>38-41</sub>) and Grt4 (Alm<sub>50-58</sub> Sps<sub>2-3</sub> Prp<sub>8-10</sub> Grs<sub>30-38</sub>). Grt1 occurs as highly corroded cores of the garnet crystals, and contains inclusions of epidote, omphacite (Jd<sub>28</sub>), titanite and actinolite, indicating the first subduction-related metamorphism in the eclogite facies (M1). The second growth zone (Grt2) hosts inclusions of chlorite, hornblende/actinolite, albite/oligoclase, allanite/epidote, zoisite, K-feldspar, indicating relatively low-P/T metamorphism in the transitional greenschist/amphibolite facies (M2). Grossular (Grs<sub>72-86</sub> Adr<sub>6-22</sub> Sps<sub>1-7</sub>) is exclusively present as discrete crystals included in an intermediate zone within Grt2. The third garnet generation (Grt3) is recognized as a skeletal/dendritic overgrowth on Grt2. Grt3 hosts abundant aqueous fluid inclusions in addition to an almost identical inclusion paragenesis as Grt2. Metamorphism associated with Grt3 growth (M3) could be related to a pulse-like hydrothermal event. The last garnet generation (Grt4) resulted from second subduction-related metamorphism (M4). The early phase of M4 took place in the garnet-unstable conditions, and is recorded as relic inclusions within matrix amphibole. This early M4 assemblage includes glaucophane, actinolite, pumpellyite, phengite (Si=3.58-3.70 apfu) and paragonite, indicating high-P/T type metamorphism in the transitional pumpellyite-actinolite/blueschist facies. The inclusion paragenesis within Grt4 is identical with the matrix assemblage that consists of edenite/barroisitic hornblende, albite/oligoclase, epidote, phengite (Si=3.38-3.45 apfu), chlorite, titanite and quartz. The matrix amphibole was slightly replaced first by glaucophane + actinolite and then by actinolitic hornblende during final exhumation. P-T conditions during Grt4 growth are estimated to be ~550 deg.C, 1.1 GPa, and thus the K-Ar system of phengite have been closed after the thermal peak of M4.

By combining the available information, we presume that the NMFZ high-P blocks underwent, at least, two subduction-exhumation cycles with three main tectono-metamorphic phases: 1) the first subduction-related metamorphism (~140-130 Ma), 2) subsequent thermal events at shallow crustal levels, and 3) the second subduction-related metamorphism (~77 Ma) at the transitional oceanic to continental subduction setting.

References: Brueckner et al. (2009), EPSL 284, 228-235; Harlow et al. (2004), Geology 32, 17-20.

キーワード: 上昇, 多段階成長ざくろ石, グアテマラ, 沈み込み

Keywords: exhumation, polygenetic garnet, Guatemala, subduction

## 四国西部三波川変成岩類の地質構造と粘性流動による変形構造 Geologic structure of the Sanbagawa Metamorphic Rocks in western Shikoku and deformation pattern of viscous fluids

宮崎 一博<sup>1\*</sup>

MIYAZAKI, Kazuhiro<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>産総研 地質情報研究部門

<sup>1</sup>GSJ AIST

三波川変成岩類は下部地殻より深い深度で形成された低温高圧型変成岩類である。この変成岩類は地下深部からの上昇時に大規模な変形を被ると予想される。四国西部伊予長浜地域に広く分布する三波川変成岩の地質構造と粘性流体の単純剪断変形下での構造形成の比較をおこなったので報告する。

伊予長浜地域の三波川変成岩類を原岩岩相を基に区分すると、泥質片岩を主体とする内子ユニット、苦鉄質片岩を主体とする伊予ユニットに区分できる(1)。内子ユニットの変成岩類は伊予ユニットの変成岩類の南側に NEE-SWW 走向の高角断層で接して分布する。伊予ユニットはさらに、苦鉄質片岩、赤色珪質片岩、泥質片岩、砂質片岩からなる下部、厚い苦鉄質片岩からなる中部、苦鉄質片岩と泥質片岩の繰り返しからなる上部に細分できる。

内子ユニットと伊予ユニット下部及び中部の泥質片岩はざくろ石や黒雲母を生じておらず、四国中央部の緑泥石帯の変成度を示す。伊予ユニット下部及び中部の苦鉄質片岩には藍閃石、アルバイト、石英、緑泥石、緑れん石の共生が認められる。伊予ユニット上部の変成岩類はアルバイト斑状変晶が発達する泥質片岩及び苦鉄質片岩で、泥質片岩にはざくろ石が生じている。伊予ユニットでは構造的上位に向かい変成度が高くなると予想される。

泥質片岩中のフェンジャイト K-Ar 年代は「大洲」(図幅 1)の結果も合わせると、伊予ユニットで  $78.7 \pm 2.0 \sim 88.1 \pm 2.2$  Ma であり、内子ユニットで  $90.6 \pm 2.3 \sim 94.6 \pm 2.4$  Ma ある。

伊予ユニットには東西走向のアンチフォームがほぼ中央部に存在し、変成岩の片理はアンチフォームを境に、北側は北へ、南側は南へ緩く傾斜している。赤色珪質片岩の分布から、地域西部に横臥褶曲の存在が推定できる。また、露頭スケールで軸面が水平に近い褶曲が多く認められる。

低温高圧型変成岩の場合、片理に垂直な方向へピーク時の温度圧力が変化する。単純剪断変形により形成温度圧力が異なる変成岩類が接合すればこのような温度圧力変化の説明が容易になる。伊予ユニットの三波川変成岩類に認められる軸面がほぼ水平な褶曲が単純剪断変形で形成可能かどうか調べた。粘性率の異なる2種類の粘性流体からなる系を考えた。粘性率は高粘性の部分で  $10^{23}$  Pa s、低粘性の部分で  $10^{21}$  Pa s とした。上下を剛体の板ではさみ、剪断方向にわずかに斜交した層状構造を初期状態として与え、上下の板を反対方向に 1cm/y から 10cm/y の速度で移動させ、単純剪断変形させた。その結果、波長数 cm から数 km で、軸面が剪断方向にほぼ平行な褶曲が形成された。今回の結果と天然との比較は不十分であるが、シミュレーションの結果は単純剪断変形下において変成度が著しく異なる変成岩が接合しながら大規模な褶曲を形成する可能性を示している。

1) 坂野ほか(2010)大洲地域の地質。地域地質研究報告(5万分の1地質図幅)、産総研地質調査総合センター、58p.

キーワード: 三波川変成岩類, 地質構造, 粘性流体, 変成作用, 変形, 褶曲

Keywords: Sanbagawa Metamorphic Rocks, Geologic structure, viscous fluids, metamorphism, deformation, fold

## 黒瀬川帯に産する青色片岩の形成テクトニクス

### Protolith and tectonic environment of blueschist from the Kurosegawa tectonic zone, South-west Japan.

吉本 紋<sup>1\*</sup>, 小山内 康人<sup>1</sup>, 中野 伸彦<sup>1</sup>, 足立 達朗<sup>1</sup>, 米村 和紘<sup>1</sup>, 石塚 英男<sup>2</sup>

YOSHIMOTO, Aya<sup>1\*</sup>, OSANAI, Yasuhito<sup>1</sup>, NAKANO, Nobuhiko<sup>1</sup>, ADACHI, Tatsuro<sup>1</sup>, YONEMURA, Kazuhiro<sup>1</sup>, Hideo Ishizuka<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州大学, <sup>2</sup>高知大学

<sup>1</sup>Kyushu University, <sup>2</sup>Kochi University

Blueschists from the Kurosegawa tectonic zone are distributed from central Kyushu to Kanto mountains. These rocks are usually embedded in the serpentinite melange. Blueschist is layered and can be divided into two layers; blue and green layers. Coexisting minerals of the blue layer are crossite-glaucophane, lawsonite, and less amount of sodic pyroxene. Secondary minerals that can be found in the blue layer are epidote, pumpellyite, actinolite and chlorite. Mineral assemblage of the green layer is similar to that in the blue layer. However, chlorite and actinolite of the green layer are more abundant than that of the blue layer, which might be due to hydration during retrograde metamorphism.

It is also noted that the green layer is enriched in LIL elements in comparison with the blue layer affected by the retrograde metamorphism, and then we used the data only from the blue layer for later discussion.

Based on several discrimination diagrams using HFS and REE elements of the blueschists, their protoliths can be divided into following four types of basalt: (1) N-MORB type, (2) E-MORB type, (3) OIB type, (4) T-MORB type.

Rb-Sr isotopic analysis (using blueschist samples from Kyushu, Shikoku, and Kii peninsula) yields a whole rock isochron age of 269 +/- 8Ma (SrI=0.70513 +/- 0.00018). Zircon U-Pb ages were also determined to be an inherited age (430-490Ma) of pelitic schist from Itsuki area in Kyushu and as a protolith age (480-520Ma) of gabbro from Engyoji area in Shikoku. Therefore, the Rb-Sr isochron age of 269Ma might reflect the timing of the blueschist-facies metamorphism from the Kurosegawa tectonic zone.

Results of these studies suggests that the formation process of Kurosegawa tectonic zone was possibly prior to continental collision of the North China craton and South China craton during the age of early Triassic (ca. 230-220Ma).

In addition, Nd-Sm isotopic analysis (using blueschist samples from Itsuki area in Kyushu) yields a whole rock isochron age of 804 +/- 64Ma (NdI=0.511781 +/- 0.00073). Therefore, blueschists in Kurosegawa tectonic zone were formed by subduction of the oceanic plate that was located in front of the South China craton.

Keywords: Kurosegawa tectonic zone, blueschist

## An Outline of High-Pressure Metamorphic Rocks from Bantimala and Barru Complex in South Sulawesi, Indonesia

Nugroho Setiawan<sup>1\*</sup>, Yasuhito Osanai<sup>1</sup>, Nobuhiko Nakano<sup>1</sup>, Tatsuro Adachi<sup>1</sup>, Kazuhiro Yonemura<sup>1</sup>, Aya Yoshimoto<sup>1</sup>  
SETIAWAN, Nugroho<sup>1\*</sup>, OSANAI, Yasuhito<sup>1</sup>, NAKANO, Nobuhiko<sup>1</sup>, ADACHI, Tatsuro<sup>1</sup>, YONEMURA, Kazuhiro<sup>1</sup>, YOSHIMOTO, Aya<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Social and Cultural Studies, Kyushu University

<sup>1</sup>Graduate School of Social and Cultural Studies, Kyushu University

Accretionary and metamorphic complexes regarded as Cretaceous subduction complexes of Indonesia are distributed in Central Indonesia include of West and Central Java, South Kalimantan and South Sulawesi. The widely dispersed rocks of the pre-Tertiary basement in the Indonesian region comprise variably metamorphosed accretionary complexes, imbricated terranes, melange, turbidite and broken formations, and ophiolite (Parkinson et al., 1998). These accretionary and metamorphic complexes in South Sulawesi are recorded on the restricted area namely Bantimala and Barru Complex.

Bantimala Complex is a tectonic assemblage of slices and blocks consisting of sandstone, shale, conglomerate, chert, siliceous shale, basalt, ultramafic rocks, schist and schist breccia with the ages of components range from Jurassic to middle Cretaceous (Wakita et al., 1996). The metamorphic rocks are intercalated with melange deposits and mainly consist of high-pressure metabasites and low-pressure metamorphosed clastic sequence rocks. The melange includes clasts and blocks of chert, sandstone, basalt, limestone and schist embedded within a sheared shale matrix (Wakita et al., 1996). K-Ar ages of phengite on garnet-glaucophane rock yields 125-139 Ma and 107-119 Ma, 118-130 Ma on mica rich intercalated with garnet-glaucophane rock, 108-120 Ma and 109-121 Ma for mica-quartz schist intercalated with hematite bearing glaucophane schist (Wakita et al., 1994, 1996) and 134-140 Ma for eclogite (Parkinson et al., 1998). Miyazaki et al. (1996) estimate the peak pressure of the Bantimala eclogites were 18-24 kbar at 580-640 °C. Parkinson et al. (1998) suggest the pressure and temperature for eclogites and garnet-glaucophane rocks were 18-24 kbar at 580-620 °C and jadeite-garnet-quartz (coesite) rock were >27 kbar at 720-760 °C.

High-pressure metamorphic rocks in the Bantimala Complex mainly crop out as river boulders. Mafic rocks (eclogite) are the most common comparing to pelitic lithologies such as glaucophane schist and garnet-glaucophane-phengite schist. Rarely garnet-jadeite-quartz rock crops out as 3 m wide river boulders in Bantimala River. Meanwhile, the Barru Complex is located approximately 30 km north of the Bantimala area. Metamorphic rocks in this area are crop out more restricted area with most common lithologies are variably of garnetiferous quartz-mica schist and serpentized peridotite. Wakita, et al. (1994) reported phengite K-Ar age determination from quartz-mica schist of 106 Ma.

The evidence from mineral chemistry analysis, suggests that the Grt-Jd-Qtz rock passed through Jd + Qz stability field during metamorphic evolution. Peak metamorphism of eclogite is represented by garnet rim and omphacite in the matrix. Grt?Cpx thermometer (Krogh, 1988., Pattison & Newton, 1989., and Ravna, 2000) yield a temperature of 720-820 °C for pressure of 25 kbar on the sample of eclogite 110310T03F. The occurrence of glaucophane inclusions in the core and mantle of garnet indicate the former stability field in the blueschist area. Retrogression observed in the eclogites is represented by replacement of omphacite by actinolite-tremolite-winchite-barroisite amphiboles.

Moreover on the retrogression stage, three types of eclogite are recognized. All of the types are contain garnet and omphacite bearing assemblages. The difference between each type is secondary phase minerals that present during retrogression. Type I of eclogite is dark green eclogite with rich of omphacite in the matrix and less of amphibole or minimally affected by the secondary hydration. Type II of eclogite is bluish colored rich of glaucophane and less of omphacite in the matrix. Omphacite grains in this eclogite are restricted as inclusions on garnet or other minerals. Type III of eclogite is light green-bluish colored dominated by mostly amphiboles in the matrix that ranges in composition from actinolite to barroisite. In these rocks, omphacite is partially to completely replaced by amphiboles.

キーワード: high-pressure metamorphic rocks, eclogite, Bantimala Complex, Barru Complex, South Sulawesi, Indonesia

Keywords: high-pressure metamorphic rocks, eclogite, Bantimala Complex, Barru Complex, South Sulawesi, Indonesia

## Metamorphic conditions of blueschists and greenschists in the Toudaoqiao area, in Inner Mongolia, NE China

## Metamorphic conditions of blueschists and greenschists in the Toudaoqiao area, in Inner Mongolia, NE China

Limin Zhao<sup>1\*</sup>, Akira Takasu<sup>1</sup>, Weimin Li<sup>2</sup>, Liu Yongjiang<sup>2</sup>  
ZHAO, Limin<sup>1\*</sup>, TAKASU, Akira<sup>1</sup>, LI, Weimin<sup>2</sup>, Liu Yongjiang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Geoscience, Shimane University, Japan, <sup>2</sup>Jilin University, P.R.China

<sup>1</sup>Department of Geoscience, Shimane University, Japan, <sup>2</sup>Jilin University, P.R.China

Blueschists and related metamorphic rocks are exposed in the Toudaoqiao area of the Honghuaerji-Yimin district in Inner Mongolia, northeastern China (Ye et al., 1994). These metamorphic rocks occur along Tayuan-Xiguitu fault, located between the Ergun block and the Xing'an block, and those are situated in the eastern parts of the Central Asian Orogenic Belt (Sengor et al., 1993).

Zhao et al. (2011) reported that blueschists occur together with greenschists, pelitic schists and siliceous schists in this area. The blueschist consists of amphibole (Gln, Mg-rbk and Win), epidote, albite, phengite (Si=6.7-7.0 p.f.u.), quartz, titanite and hematite, and the metamorphic conditions are in the epidote-glaucophane facies (380-450°C, 11-14kbar).

In this study we describe barroisite-bearing blueschists and greenschists. The barroisite-bearing blueschists consist mainly of amphibole (Mg-rbk, Gln, Win, Ktp and Brs), epidote, albite, phengite (Si=6.7-7.2 p.f.u.), chlorite, quartz, calcite and titanite with minor amounts of hematite. The amphibole is of subhedral prismatic crystal with size up to 0.2 mm long. It contains inclusions of amphibole (Ktp and Brs) as a relic of the precursor metamorphic event. The amphibole is zoned with winchite core ( $Na_B=0.54-1.48$  p.f.u.) to magnesioriebeckite rim ( $Na_B=1.52-1.81$  p.f.u.), and it is partly replaced by chlorite, calcite, titanite and quartz. The zoning texture suggests the prograde stage is in the winchite stability field followed by the magnesioriebeckite/glaucophane stability field. The peak metamorphic stage is characterized by the rim of amphibole (Mg-rbk/Gln) and coexisting minerals (epidote+albite (An<0.38)+phengite (Si=7.2 p.f.u.)+hematite+titanite+calcite), suggesting the epidote-glaucophane schist facies metamorphic event. The retrograde stage is represent of chlorite, calcite, quartz and titanite, which replace the amphibole, probably suggests the greenschist metamorphic event. The peak stage mineral assemblage is same as the previously described blueschist, and the metamorphic condition are T=390-450°C, P=13-15kbar.

The greenschists consist mainly of amphibole (Act, Mg-hbl, Ts, Ed and Hs), epidote, chlorite, albite, phengite (Si=6.7-6.9 p.f.u.), quartz, calcite and titanite with minor amounts of hematite. The amphibole is mainly classified as actinolite ( $Na_B<0.34$  p.f.u.), and it is of euhedral to subhedral prismatic crystal, with size up to 0.5 mm long. It is commonly zoned with magnesiohornblende (Ti=0.14-0.26 p.f.u.) core and actinolite ( $Na_B<0.16$  p.f.u.) rim, and its core contains inclusions of amphibole (Ts, Ed, Hs and Mg-hbl (Ti<0.10 p.f.u.)) and titanate. Actinolite ( $Na_B=0.10-0.34$  p.f.u.) and chlorite occur along cleavages of the zoned amphibole. The core of the amphibole and its inclusions (Ts, Ed, Hs and Mg-hbl) as relic of the precursor high temperature metamorphic event. The peak metamorphism is represented by actinolite+chlorite+epidote+albite (An<0.2)+phengite (Si=6.9 p.f.u.)+quartz+hematite, suggesting low-temperature and high-pressure metamorphic condition.

### Reference

Blundy and Holland, 1994, *Miner and Petrol.*, 116, 433-447; Evans, 1990, *Lithos*, 25, 3-23; Holland, T.J.B., 1983, *Contr. Miner. Petr.*, 116, 433-447; Massonne and Schreyer, 1987, *Contr. Miner. Petr.*, 96, 212-224; Otsuki and Banno, 1990, *J. Metamorphic Geol.*, 8, 425-439; Sengor et al., 1993, *Nature*, 364, 299-307; Ye et al., 1994, *M-SGT Geology Issue*, 73-83; Zhao et al., 2011, *JPEU Conf.*

キーワード: high P/T metamorphism, blueschist, greenschist, Tayuan-Xiguitu fault, NE China

Keywords: high P/T metamorphism, blueschist, greenschist, Tayuan-Xiguitu fault, NE China

## Geochemistry of the HP-UHP metamorphic rocks, Makbal complex, northern Kyrgyz Tien-Shan Geochemistry of the HP-UHP metamorphic rocks, Makbal complex, northern Kyrgyz Tien-Shan

Azamat Bakirov<sup>1</sup>, Kadyrbek Sakiev<sup>1</sup>, Michio Tagiri<sup>2</sup>, Apas Bakirov<sup>1</sup>, Akira Takasu<sup>3\*</sup>, Rustam Orozbaev<sup>4</sup>, Asel Togonbaeva<sup>1</sup>, Jun-Ichi Kimura<sup>5</sup>

BAKIROV, Azamat<sup>1</sup>, Kadyrbek Sakiev<sup>1</sup>, TAGIRI, Michio<sup>2</sup>, Apas Bakirov<sup>1</sup>, TAKASU, Akira<sup>3\*</sup>, OROZBAEV, Rustam<sup>4</sup>, Asel Togonbaeva<sup>1</sup>, Jun-Ichi Kimura<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geology, Kyrgyz National Academy of Science, <sup>2</sup>Hitachi City Museum, Miyatacho, <sup>3</sup>Department of Geoscience, Shimane University, <sup>4</sup>Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University, <sup>5</sup>Institute for Research on Earth Evolution, JAMSTEC

<sup>1</sup>Institute of Geology, Kyrgyz National Academy of Science, <sup>2</sup>Hitachi City Museum, Miyatacho, <sup>3</sup>Department of Geoscience, Shimane University, <sup>4</sup>Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University, <sup>5</sup>Institute for Research on Earth Evolution, JAMSTEC

Geochemistry of the HP-UHP metamorphic rocks, Makbal complex, northern Kyrgyz Tien-Shan

A.A. Bakirov<sup>1</sup>, K.S. Sakiev<sup>1</sup>, M. Tagiri<sup>2</sup>, A.B. Bakirov<sup>1</sup>, A. Takasu<sup>3</sup>, R.T. Orozbaev<sup>4</sup>, A.A. Togonbaeva<sup>1</sup> and J.-I. Kimura<sup>5</sup>

The Makbal UHP complex occurs in the western part of Kyrgyz Range of the Northern Tien-Shan and consists of quartzite and muscovite-quartzite, garnet-muscovite-quartz and chlorite-muscovite-quartz schists, marbles, amphibolites with relicts of eclogites and UHP talc-garnet-chloritoid schists (Tlc-Grt-Cld). The coesite has been found in quartzites and Tlc-Grt-Cld schists, and they experienced UHP metamorphism ( $P > 29$  kbar and  $T < 600$  °C), whereas the eclogites and garnet amphibolites are experienced mainly HP metamorphism with different peak P-T conditions (Tagiri et al., 2010). UHP Tlc-Grt-Cld schists are conformably intercalated in thick quartzite layers. Eclogites occur as imbricated lenses within these host UHPM rocks.

A phengite K-Ar age of 509+13 Ma (Tagiri et al., 2010), CHIME monazite age of 481+26 Ma (Togonbaeva et al., 2009) and 498+7 Ma for the UHP Tlc-Grt-Cld schist and paragonite K-Ar age of 482+17 Ma (Tagiri et al., 1995) and zircon SHRIMP U-Pb ages 509+7 Ma and 502+10 Ma (Konopelko et al., 2011) has been reported for the eclogite. The granitic rocks discordantly intruded in the Makbal complex are dated as 399+10 Ma (Tagiri et al. 2010).

We carried out whole-rock geochemistry analyses on major, trace and REE abundances for the eclogites, Qtz-Grt-carbonate rocks, Tlc-Grt-Cld schists, quartzites, garnetite and one clinopyroxene-biotite rich rocks (lamproite?) from the Makbal Formation. The classification diagrams, using major and trace elements, classify the eclogites as tholeiitic basalts. Tlc-Grt-Cld schists, garnetite and Qtz-Grt-Carb rocks plot in the same field. In the conventional tectonic discrimination diagrams, the eclogites plot in the field of MORB and VAB. Similarly, the Tlc-Grt-Cld schists and Qtz-Grt-Carb rocks show also same compositions in these diagrams as eclogites. However, Tlc-Grt-Cld schist have very low content of CaO (<2 wt%), Na<sub>2</sub>O (<0.1 wt %) and relatively high MgO (<18 wt %), which is not comparable with basaltic composition. Togonbaeva et al. (2010) pointed out the similarities of the eclogite and Tlc-Grt-Cld schists compositions, and they suggested that the Tlc-Grt-Cld schist is the mixture between eclogite protoliths (basaltic) and quartzites (pelitic) compositions.

Chondrite and primitive mantle normalized diagrams of REE and some trace element abundances show relatively similar pattern for the eclogites, Qtz-Grt-Carb rocks and Tlc-Grt-Cld schists, except some REE enrichments in Tlc-Grt-Cld schists. Eclogites and Tlc-Grt-Cld schists are depleted in incompatible elements (Rb, Ba, Sr, K, Ca), however enriched in Pb.

Here, we propose the possible metasomatic origin of Tlc-Grt-Cld schist in the Makbal complex, similarly to whiteschists formation in Dora-Maira Massif (DMM), Western Alps. Two main genetic hypotheses were proposed for the origin of whiteschists in DMM, i.e. sedimentary (highly Mg-meta-evaporite; Schreyer, 1977) vs. metasomatic (Mg-rich fluid into shear zones; Compagnoni & Hirajima, 2001; Schertl & Schreyer, 2008). We suggest that the origin of Tlc-Grt-Cld schist could be related to Mg-metasomatism on the basaltic protoliths of eclogites, at least prior to peak UHP conditions. This process can be responsible for the modification of some major and trace elements in the eclogites to more Mg-rich and Ca- and Na-poor, similarly to whiteschist in DMM. The metasomatic origin supported also by field relations of these rocks and their similar geochronological data.

References: Tagiri et al. (1995), Island Arc; Tagiri et al. (2010), JMPS; Togonbaeva et al. (2009), JMPS, Togonbaeva et al. (2010) JAMS Annual Meeting, Matsue; Compagnoni & Hirajima (2001), Lithos; Konopelko et al. (2011), Gondwana Research;

# Japan Geoscience Union Meeting 2012

(May 20-25 2012 at Makuhari, Chiba, Japan)

©2012. Japan Geoscience Union. All Rights Reserved.



SMP46-P15

会場:コンベンションホール

時間:5月25日 15:30-17:00

Schreyer (1977), Tectonophysics; Schertl & Schreyer (2008), Eur. Jour. Miner.

キーワード: geochemistry, UHP metamorphism, metasomatism, Makbal, Tien-Shan, Kyrgyzstan

Keywords: geochemistry, UHP metamorphism, metasomatism, Makbal, Tien-Shan, Kyrgyzstan

## 接触変成帯におけるメタチャート中の石英の粒径変化から求めた粒界拡散係数 Grain-boundary diffusion coefficient based on variation of quartz grain sizes in metacherts around a contact aureole

奥平 敬元<sup>1\*</sup>, 坂東 光<sup>1</sup>

OKUDAIRA, Takamoto<sup>1\*</sup>, Hikaru Bando<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 阪市大・院理・地球

<sup>1</sup>Dept. Geosci., Osaka City Univ.

粒界拡散係数は、変成作用・変形作用の素過程を考える場合、最も重要なパラメータである。これまで、Farver and Yund (1990, 2000) などにより粒界における酸素や珪素の拡散係数が実験的に求められている。Farver and Yund (1990) では酸素の粒界拡散における活性化エネルギーは 113 kJ/mol であり、Farver and Yund (2000) による珪素のバルク拡散における活性化エネルギーは 137 kJ/mol (熱水)、178 kJ/mol (無水) である。一方、天然に産する変成岩 (特に接触変成岩) を用いて、Joesten (1983) は石英の粒径変化と熱モデルに基づく正常粒成長による粒径変化を比較する事により粒界拡散係数を求め、酸素の粒界拡散における活性化エネルギーを 210 kJ/mol とした。このように、天然から求められた活性化エネルギーと実験で求められたものとは、大きく異なっており、実際の解析を行う場合どの値を用いるべきか判断できない。本研究では、Joesten (1983) の研究に倣って、接触変成帯における粒径変化 (石英) と熱モデルに基づく正常粒成長による粒径変化を比較し、粒界拡散における活性化エネルギーを求める事を目的とした。

試料は京都府花背地域の丹波帯に貫入している花背?別所石英閃緑岩 (貴治ほか, 2000) 周辺の接触変成帯である。この接触変成帯において、系統的にメタチャートを採取した。採取された試料は岩石薄片とし、偏光顕微鏡下および極細粒の場合は SEM を用いて、写真撮影を行った。この写真においてドローソフト (Canvas) を用いながら鉱物粒界をトレースした。その後、ImageJ を用いて石英の粒径を円相当粒径として求めた。全ての試料の粒径分布は対数正規となり、基本的に花崗岩体に近づくにつれて粒径が大きくなる。熱モデルから熱履歴を計算し、観察された粒径と計算された温度を用いたアレニウスプロットより、活性化エネルギーを求めた。その結果、活性化エネルギーは 140±16 kJ/mol と見積られ、Farver and Yund (2000) の熱水実験のバルク拡散の値とほぼ同じものとなった。さらに、正常粒成長則により計算された石英粒径と観測値の比較から  $D_0$  の値を見積った結果、 $5 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$  を得た。

文献: 貴治・康夫・小澤大成・村田 守 (2000) 京都市北部、山陽帯に分布するアダカイト質丹波花崗岩質岩. 岩石鉱物科学, 29, 136-149.

キーワード: 粒界拡散係数, 石英, 正常粒成長, 接触変成帯, 熱モデル, 粒径

Keywords: grain-boundary diffusion coefficient, quartz, normal grain growth, contact aureole, thermal model, grain size

## クラック内における結晶粒界不安定

## Unstable boundary formation behind the growth front in sealing of open crack

鳥海 光弘<sup>1\*</sup>, 福山 繭子<sup>2</sup>

TORIUMI, mitsuhiro<sup>1\*</sup>, Mayuko Fukuyama<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 海洋研究開発機構, <sup>2</sup> 秋田大学

<sup>1</sup>JAMSTEC, <sup>2</sup>Akita University

Unstable boundary formation behind the growth front in sealing of open cracks

Mitsuhiro Toriumi \* and Mayuko Fukuyama\*\*

\* IFREE, JAMSTEC

\*\* IES, Academia Sinica/ Univ Akita

Plate boundary quartzite metamorphic rocks contain abundant sealed open cracks and shear cracks that are occupied mainly by quartz with minor amount of albite and chlorite. Apparently the sealed cracks can be classified into two types: one is the comb type and another is the granular type. The latter displays rapid increase of grain size toward the center of the sealed cracks and the grain size proportional to the width of the sealed cracks as indicated by Toriumi and Hara (1995).

The growth front in the sealing of cracks is considered to be parallel to the wall surface and it faces fluid phase in the cracks. The boundary behind the growth front is characterized by wavy interface, showing the various wavelengths of periodicity. This type of unstable boundary should be formed by the instability of growth front during precipitation of constituent minerals in active open cracks. The wavelength of the unstable boundary increases with increasing grain size. The comb type sealed cracks show narrow wavelength but the granular type ones do wide wavelength. In this study, the relationship between the unstable boundary and the instability of growth front during the sealing of cracks.

Crack geometries and deformation by the crack-seal mechanism in the Sambagawa metamorphic belt, Toriumi, M and E. Hara, *Tectonophysics* 245, 249-261, 1995.

Keywords: unstable boundary, crack sealing, instability of growth, plate boundary metamorphism

## Fabric analyses of glaucophane and lawsonite in low-grade blueschist from Diablo Range, California Fabric analyses of glaucophane and lawsonite in low-grade blueschist from Diablo Range, California

Daeyeong Kim<sup>1\*</sup>, Ikuo Katayama<sup>1</sup>, Katsuyoshi Michibayashi<sup>2</sup>, Tatsuki Tsujimori<sup>3</sup>  
KIM, Daeyeong<sup>1\*</sup>, KATAYAMA, Ikuo<sup>1</sup>, MICHIBAYASHI, Katsuyoshi<sup>2</sup>, TSUJIMORI, Tatsuki<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, <sup>2</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University,

<sup>3</sup>Pheasant Memorial Laboratory, Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University

<sup>1</sup>Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, <sup>2</sup>Institute of Geosciences, Shizuoka University,

<sup>3</sup>Pheasant Memorial Laboratory, Institute for Study of the Earth's Interior, Okayama University

Deformational microstructures of glaucophane and lawsonite in a lawsonite blueschist from New Idria serpentinite body, Diablo Range are studied to understand rheological behaviors of subducting oceanic crust. Glaucophane deforms by recovery and dynamic recrystallization possibly accommodated by dislocation creep, based on developments of crystal-preferred orientations (CPOs), small grain size and irregular or curved grain boundary. Euhedral or subhedral grains with angular or straight grain boundary of lawsonite suggest its deformation mechanism as rigid body rotation. Both minerals in glaucophane-rich layer (GR) show stronger CPOs, higher aspect ratios and lower angle to foliation (stronger shape-preferred orientation, SPOs) than those in lawsonite-rich area (LR), denoting that strain is mainly localized into the GR. In addition, stronger fabrics are observed in the GR rather than in the LR on the basis of fabric analyses ( $M=0.20$ ,  $J=18.0$  for glaucophane and  $M=0.21$ ,  $J=9.6$  for lawsonite in the GR, and  $M=0.18$ ,  $J=16.0$  for glaucophane and  $M=0.15$ ,  $J=7.8$  for lawsonite in the LR). All results of this study therefore indicate that rheological behaviors of subducting oceanic crust are mainly controlled by glaucophane rather than lawsonite.

キーワード: relative contrast, glaucophane, lawsonite, blueschist, subducting oceanic crust

Keywords: relative contrast, glaucophane, lawsonite, blueschist, subducting oceanic crust

## 変成岩の反応縁にみられる組成勾配の成因 Origin of compositional gradient recorded in metamorphic reaction rims

池田 剛<sup>1\*</sup>

IKEDA, Takeshi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Kyushu University

Localized occurrence of product minerals in reaction rims strongly suggests that the formation of the rim has been rate-controlled by diffusion. It has been a general consensus that the disequilibrium state during the rim formation was quenched, and that the chemical potential gradients were preserved in the rims, which was recognized as presence of compositional gradients of product minerals. This study propose alternative model to explain the compositional gradient occurring in the metamorphic coronas. In retrograde stages, migration distance (mean free path) decreases with descending temperature. The metamorphic reaction would cease when the migration distance sinks below the spatial distance between the reactant minerals. Each of reactant minerals that are chemically isolated could attain the local equilibrium. That is, the diffusion profiles maintained during the reaction would modify to homogenize after the reaction ceased. The continuous reaction produces the product minerals that change their composition progressively during descending temperature. Migration of components within crystal is much slower than that along grain boundary by a factor of 5 to 6. This suggests that compositional heterogeneity in product minerals would be likely to preserve even if local equilibrium was maintained among minerals within the migration distance.

キーワード: 反応縁, 組成勾配, 分別結晶

Keywords: reaction rim, compositional gradient, fractional crystallization

## 低熱変成地域におけるラマン地質温度計開発

## Raman spectra of carbonaceous material in low-grade thermally-metamorphosed accretionary complex

向吉 秀樹<sup>1\*</sup>, 廣瀬 丈洋<sup>2</sup>, 山本 由弦<sup>3</sup>, 坂口 有人<sup>3</sup>HIDEKI, Mukoyoshi<sup>1\*</sup>, HIROSE, Takehiro<sup>2</sup>, YAMAMOTO, Yuzuru<sup>3</sup>, SAKAGUCHI, Arito<sup>3</sup><sup>1</sup>(株)マリン・ワーク・ジャパン, <sup>2</sup>海洋研究開発機構 高知コア研究所, <sup>3</sup>海洋研究開発機構<sup>1</sup>Marine Works Japan Ltd., <sup>2</sup>JAMSTEC Kochi, <sup>3</sup>JAMSTEC

堆積岩中には有機物起源の炭質物が含まれている。これらの有機物は熱変成作用に伴う熟成によりグラファイトへと変化し、その熟成度は有機物が経験した最高被熱温度を見積もる指標となる。炭質物の最高被熱温度を見積もる手法の一つにラマン地質温度計がある。炭質物のラマンスペクトルはG(グラファイト)ピークおよびD(Disorder)ピーク群に分解される(Tuinstra & Koenig, 1970)。このうち変成岩に含まれるグラファイトは、その結晶構造の発達に伴い、DピークはGピークに比べ相対的に小さくなる。そのため、これらのピークのうち1580cm<sup>-1</sup>付近に現れるGピーク、1350cm<sup>-1</sup>付近に現れるD1ピーク、1620cm<sup>-1</sup>付近に現れるD2のピークの面積比R2(=D1/[G+D1+D2])を指標とした地質温度計が構築されている(Bayssac et al., 2002; Aoya et al., 2010など)。しかし、この関係は被熱温度が300°C以下の低熱変成地域の非晶質炭質物(石炭)試料では必ずしも成り立たず、逆に熱変成とともにDピークが大きくなる傾向にある。そのため、低熱変成地域においては、変成岩地域において報告されているラマン地質温度計をそのまま使用することはできない。

そこで本研究では、低熱変成地域に特化したラマン地質温度計を開発することを目的とし、ビトリナイト反射率によって被熱温度がすでに見積もられている房総半島中部中新統保田付加体(被熱温度約50°C)(Yamamoto et al., 2005)、四国南西部白亜系四万十帯(被熱温度約150°C、230°C)(Mukoyoshi et al., 2006)、ジュラ系足尾帯(被熱温度約300°C)の炭質物のラマン分析を行い、被熱温度とラマンスペクトルの相関について調べた。

ラマン分析は、高知コアセンターに設置されている堀場ジョバン・イボン社製T64000を使用した。励起光はAr+レーザー(波長514.5nm)、ビーム径は2μmである。測定時間10秒、積算回数2回で測定した。サンプル表面での照射エネルギーは1.0mWになるように調整した。ラマンスペクトル解析には装置に付属のLabSpecソフトウェアを使用した。測定は炭質物1粒子につき3~10回測定し、1地域ごとに10粒以上の炭質物粒子を測定した。これまで報告されているグラファイト質炭質物のラマン分析では、ピークを上述のD1, G, D2ピークおよび1500cm<sup>-1</sup>付近に現れるD3ピークの4つに分離しているが、石炭においては、これらのピークの他にD1ピークの肩として1180cm<sup>-1</sup>付近、1270cm<sup>-1</sup>付近および1450cm<sup>-1</sup>付近にピークが確認される。石炭チャーのラマン分析において、1150cm<sup>-1</sup>、1220cm<sup>-1</sup>、1450cm<sup>-1</sup>付近にDピーク群の一部とされるピークの報告があり、(Bar-Ziv et al., 2000, Zaida et al., 2007, Potgieter-Vermaak et al., 2011)、上述のD1ピークの肩はこれらのピークに対応するピークであると思われる。これらのピークの影響により、これまで報告されているDとGの2つのピーク分離やG、D1、D2、D3の4つのピーク分離ではスペクトルをうまくフィッティングすることができない。そこで、これまでのピーク分離法に加え、D1ピークの肩として現れる3つのピークを含む合計7つのピークに分離した上でのスペクトルフィッティングもおこなった。

解析の結果、ピークを4つに分離してフィッティングしたもので、これまでのラマン地質温度計で報告されている低熱変成地域の炭質物と同様に、R2の面積比と被熱温度との相関が見られなかった。一方ピークを7つに分離し、Aoya et al., 2010を参考に単一試料ごとの面積比の平均値を計算したうえで被熱温度との相関について調べたところ、R2面積比においては、 $T(^{\circ}\text{C}) = 8.6 * \exp(7 * R2)$ (決定係数0.98)の指数相関関係が見られた。また、R2の面積比とは別に、D1/[分離した7つのピーク全て]の面積比(仮にR6とする)と被熱温度との相関について検討したところ、 $T(^{\circ}\text{C}) = 10.9 * \exp(11.9 * R6)$ (決定係数0.99)のような高い指数相関関係が見られた。

以上の結果より、石炭においては、ピークを7つに分離した上でフィッティングをおこない、R6の面積比の平均値を求めることにより精度のよい被熱温度を求めることができることがわかった。その温度範囲は約50°C~300°Cであり、付加体浅部域の古地温構造解析などに応用できると考えられる。

キーワード: ラマン分光分析, ビトリナイト反射率, 炭質物, 付加体, 地質温度計

Keywords: raman spectroscopy, vitrinite reflectance, carbonaceous material, accretionary complex, geothermometry

## ラマンスペクトルから推察される炭質物の低温から高温変成作用に伴う構造変化 Structural change of carbonaceous material inferred from Raman spectra in low- to high-temperature metamorphic rocks

瀧 佑衣<sup>1\*</sup>, 水上 知行<sup>2</sup>, 森 宏<sup>1</sup>, 遠藤 俊祐<sup>1</sup>, 青矢 睦月<sup>3</sup>, 原 英俊<sup>3</sup>, 中村 大輔<sup>4</sup>, Wallis Simon<sup>1</sup>

KOUKETSU, Yui<sup>1\*</sup>, MIZUKAMI, Tomoyuki<sup>2</sup>, MORI, Hiroshi<sup>1</sup>, ENDO, Shunsuke<sup>1</sup>, Mutsuki Aoya<sup>3</sup>, HARA, Hidetoshi<sup>3</sup>, Daisuke Nakamura<sup>4</sup>, WALLIS, Simon<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院環境学研究科, <sup>2</sup> 金沢大学理工学域自然システム学類地球学コース, <sup>3</sup> 産業技術総合研究所 地質情報研究部門, <sup>4</sup> 岡山大学理学部地球科学科

<sup>1</sup>Graduate School of Environmental Studies, Nagoya University, <sup>2</sup>College of Science and Engineering, Kanazawa University,

<sup>3</sup>Institute of Geology and Geoinformation, National Institute of Advanced Industrial Science and Techn, <sup>4</sup>Department of Earth Sciences, Faculty of Science, Okayama University

We report the structural change of carbonaceous material (CM) from the samples metamorphosed at temperatures from 165 to 655 °C based on Raman spectroscopic analysis. 10 samples were selected from contact and regional metamorphic rocks of the Kasuga, Daimonji, and Shirataki areas and 9 samples were collected from accretionary complexes of the Kitagawa, Kure, and Nobeoka areas.

The shapes of CM Raman spectra show a change from broad and complex to sharp and simple ones with increasing metamorphic temperature. The D ("Defect")-bands dominate in the low temperature range and the G ("Graphite")-band increases in importance with temperature increase. These changes can potentially be used to construct a CM Raman geothermometer. However, there is no study defining a methodology for decomposing the CM Raman spectrum that is applicable to low to high temperature samples, and it is difficult to discuss the sequence of the development of CM. In particular, there has been little discussion of how peak decomposition of CM Raman spectra in the low temperature range should be carried out. In this study, several band combinations for the Raman spectrum of CM metamorphosed at the low temperature range were tested and parameters for each band were compared.

These studies show that the Raman spectrum of CM can be divided into four groups by the metamorphic temperature range: low-grade CM (150-280 °C), medium-grade CM (280-400 °C), high-grade CM (400-650 °C), and ordered graphite (> 650 °C).

**Low-grade CM:** The Raman spectrum of low-grade CM is best considered to consist of four D-bands (D1-, D2-, D3-, and D4-bands). The G-band is not clearly distinguishable in this temperature range. The shape of low-grade CM Raman spectra is qualitatively similar to those for amorphous carbon.

**Medium-grade CM:** The G-band first appears clearly in samples metamorphosed at temperatures of around > 280 °C. The D4-band disappears at around 340 °C and the prominence of the D3-band gradually decreases with increasing temperature. The peak positions of G-, D1-, and D2-bands and intensity ratio with D1- and D2-bands show changes in the temperature range of medium-grade CM. This observation indicates that CM transforms from amorphous carbon to disordered graphite in this temperature range.

**High-grade CM and ordered graphite:** Most band parameters become almost constant in the Raman spectra of high-grade CM. These changes suggest that the transition of CM from amorphous carbon to disordered graphite is complete at around 400 °C. A lot of CM grains in the highest temperature sample metamorphosed at 655 °C show spectra with only a G-band present and no recognizable D1- or D2-bands. This result indicates that CM grain reaches fully-ordered graphite at temperatures around 650 °C.

The above results are an important first step in establishing a reliable CM Raman geothermometer in low to high temperature range covering the transition of CM.

キーワード: 炭質物, ラマン分光法, 地質温度計, アモルファス炭素, グラファイト

Keywords: Carbonaceous material, Raman spectroscopy, geothermometer, amorphous carbon, graphite

## 広域変成帯の変形作用による石墨結晶度低下プロセス Low grade graphitization of deformation in Regional metamorphism

中村 佳博<sup>1\*</sup>, 赤井 純治<sup>1</sup>, 豊島 剛志<sup>2</sup>  
NAKAMURA, Yoshihiro<sup>1\*</sup>, AKAI Junji<sup>1</sup>, TOYOSHIMA, Tsuyoshi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>新潟大・理・地質,<sup>2</sup>新潟大・大学院自然科学

<sup>1</sup>Department of Geology, Sci., Niigata Univ., <sup>2</sup>Grad. Sch. Sci. & Tech., Niigata Univ.

広域変成帯における石墨化では, 様々な要因が関連することにより結晶構造が進行するとされている (Large, 1994; Itaya, 1980). その中でも延性変形が引き起こす石墨化の増大は, 大きな結晶度促進効果をもたらすと実験から明らかになっている (Bustin, 1995). このような結晶成長プロセスが実際の天然で観察できるのか検証するために, 顕微ラマン分光・XRD 分析・HRTEM 観察を行い各パラメーターについて比較検討を行った.

研究地域は北海道日高山脈中部の札内川上流地域における日高変成帯上部層を対象とした. 日高変成帯上部層は Os-anai (1987) における 1 帯-2 帯の変成分帯に属し, 非変成中の川層群の堆積岩類から白雲母-黒雲母片麻岩まで岩相が変化する. また変成岩中の剪断センス, 切断関係から D0-D9stage までの 10 段階の変形プロセスが本研究地域では考えられている (Koyasu, 2006MS). これら変形作用と温度変化を連続的に捉えるために本研究では変成分帯に直交するコイカクシュサツナイ川ルートにおいて結晶度の変化を見た.

分析の結果, 日高変成帯上部層の変形史 D2-D7 までの延性的な変形を被る岩石については結晶度に大きな差異は見られず, Bustin (1995) で考えられる結晶度の変化は天然環境下では確認できなかった. しかし D8-D9stage の脆性変形を被る岩石については, ラマンにおける結晶度 (G FWHM, R1) が大きく低下する試料が頻繁に見られることが地質調査と分析結果から判明した. ラマンにおける結晶度の変化が見られる試料では, 結晶度のばらつきが大きくヒストグラムはバイモーダルな結果を示すことが多い. この結晶度のばらつきについてラマンによるマッピングを行うと, 変成岩組織に見られる粒状の炭質物は従来の結晶度に対して脈状に分布する炭質物は結晶度が低下していることがわかった. また, HRTEM 観察を行うと非晶質な球状炭質物や Shell-like structure などのリングパターンを示す組織と六角板状のスポットパターンを示す組織が共存しており, ナノスケールでの微細組織構造でも結晶子サイズにばらつきが観察された.

これらの結晶度低下プロセスは, 最高被熱温度を獲得した時期 (D1-D4) における変形と石墨化よりも, 後期の変形プロセスが結晶度に大きな影響を及ぼすことが考えられる. また小規模な破砕帯における変形プロセスによっても大きく結晶度が変化し, XRD 分析では結晶度のばらつきを捉えることができない. つまり, 今回見出された結晶度の二極分布化は従来研究されてきた XRD 分析では検証出来なかった石墨化プロセスであり, 従来の石墨化研究においてこの結晶度低下プロセスが結晶度に大きな影響を及ぼしていることが推測される. 今後, 他の地域においても変形による低結晶度化が見られるのか検討する必要がある.

キーワード: 石墨化, 日高変成帯, 顕微ラマン分光, XRD, HRTEM

Keywords: Graphitization, Hidaka metamorphic belt, Micro-raman spectroscopy, XRD, HRTEM