

領家変成帯青山高原地域ミグマタイト帯に産するジルコン中のナノ花崗岩およびガラス包有物

Nano-granite and glass inclusions in zircon from the migmatite zone of the Aoyama area, Ryoke metamorphic belt, Japan

河上 哲生^{1*}

Tetsuo Kawakami^{1*}

¹ 京都大学大学院理学研究科地質学鉱物学教室

¹ Department of Geology and Mineralogy, Kyoto University

ジルコン中のガラス包有物やナノ花崗岩包有物は、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る。領家変成帯に産するミグマタイト中のジルコンから、はじめてナノ花崗岩包有物 [1] 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 [2]。本報告で取り扱う Grt-Crd 帯中温部のメタテキサイト中のジルコンは、BSE 像で明るく (CL 像で暗く) 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 μm の包有物が多数取り込まれている [3]。こうした包有物の一部は領家変成作用の過程で取り込まれたガラスであることがわかっているが [3]、ナノ花崗岩も同様の部分から発見された。

ジルコンに包有されるナノ花崗岩包有物は断面が丸い形をしており、直径は約 $2\ \mu\text{m}$ で、同様の産状を示す包有物の中では最大級である。FE-SEM による観察と EDS 定性分析によると、ナノ花崗岩は斜長石、黒雲母および未同定の鉱物又はガラスを複数相含む [4] はガラスが多少残存していてもナノ花崗岩と呼んでいる)。同一試料中の他のジルコンには、全く結晶化していないガラス包有物の他に、ジルコンとガラス包有物の境界に黒雲母様の鉱物が結晶化し部分的に結晶化したガラス包有物も見られる。

このようなナノ花崗岩包有物やガラス包有物がミグマタイト中の $90.3 \pm 2.2\ \text{Ma}$ に成長したジルコンリム [3] に包有され、かつ同様の組織をもつジルコンがザクロ石中に包有されることは、領家変成作用の昇温期～ピーク変成期に、泥質岩中で部分溶融が起きたことの明確な証拠である。こうしたナノ花崗岩・ガラス包有物の解析により、含水鉱物の脱水溶融反応に伴って形成される部分溶融メルトの組成が天然試料から決定されている [5]。本地域のジルコン中のメルト包有物は他地域での例 [5] と同様、非常に細粒であるため、定量分析が困難である。しかし、青山高原地域のミグマタイト出現境界付近で見つかる、ブーディンネックに集積したリューコゾームの CIPW ノルム組成 (Qtz-Ab-Or) [6] は、El Hoyo および Kerala コンダライトベルトから得られたメルト包有物の組成の間にプロットされ、Or と Qtz 両初相領域間の $P(\text{H}_2\text{O}) = 0.5\ \text{GPa}$ のコテクティック線上に乗る。このことは、青山高原地域の当該リューコゾームが昇温期に形成されたメルトであるとの解釈 [6] を支持する。

[1] Cesare et al. (2003) CMP 146, 28-43. [2] Kawakami (2001) JMG 19, 61-75. [3] Kawakami et al. (2012) CMP DOI 10.1007/s00410-012-0824-7. [4] Cesare et al. (2011) J. Virtual Explorer, 38, paper 2. [5] Acosta-Vigil et al. 2010 J. Pet. 51, 785-821. [6] Kawakami (2002) JMPS 97, 241-253.

キーワード: ジルコン, ナノ花崗岩, ミグマタイト, 部分溶融, ガラス包有物

Keywords: zircon, nano-granite, migmatite, partial melting, glass inclusion

グラニュライト相下の塩素に富む流体活動に伴う希土類元素に富む鉱物の挙動 Behavior of REE-rich minerals during Cl-rich fluid activity under granulite facies meta- morphism

東野 文子^{1*}, 河上 哲生¹, Madhusoodhan Satish-Kumar², 石川 正弘³, 土屋 範芳⁴, Grantham Geoff⁵

Fumiko Higashino^{1*}, Tetsuo Kawakami¹, Satish-Kumar Madhusoodhan², Masahiro Ishikawa³, Noriyoshi Tsuchiya⁴, Geoff Grantham⁵

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

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

グラニュライト相下の変成流体は、CO₂ に富むものが多いとされてきたが、塩素に富む流体が果たす役割の重要性も徐々に認識されつつある。塩素に富む流体は、CO₂ に富む流体と同様に流体中の H₂O 活動度を下げ、脱水反応温度を下げ、流体存在下での岩石融解温度を上昇させる (Newton et al., 1998)。塩素に富む流体は高温下でも CO₂ に富む流体とは不混和であり、鉱物の溶解度を上昇させる性質を持つため、地殻内における物質移動を理解する上で重要な役割を果たす (Heinrich et al., 2004; Newton and Manning, 2010)。しかし、塩素に富む流体の活動条件や空間的広がりについては、まだ分かっていないことが多い。そこで、大陸衝突帯下部 - 中部地殻内における地質学的プロセスを理解するために、原生代後期からカンブリア紀の大陸衝突帯である東南極セール・ロンダーネ山地を対象とし、塩素に富む流体活動の活動条件を決定し、流体活動に伴う REE に富む鉱物の挙動について調べた。

セール・ロンダーネ山地東西約 200 km に渡り、珪長質片麻岩を 33 試料調べたうち、流体活動条件を最も厳しく制御できた、バルヒェン山に産するザクロ石 - 黒雲母 - 珪線石片麻岩について詳しく述べる。本試料に含まれるザクロ石は、リンによる組成ゾーニングを持ち、振動累帯構造を持つリンに富むコアと、コアを融食し、再成長したリンに乏しいリムを持つ。塩素に富む黒雲母および燐灰石はザクロ石リムにのみ包有され、コアとマトリクスには塩素に乏しい黒雲母および燐灰石が分布する。また、丸い粗粒ジルコンは、ザクロ石リムとマトリクスにのみ分布し、コアには包有されない。したがって、丸い粗粒ジルコンは塩素に富む黒雲母および燐灰石と同時期に晶出し、ザクロ石に包有されたと考えられる。塩素に富む黒雲母がザクロ石に包有された温度圧力条件は、約 800 °C、0.8GPa であり、ピークの温度圧力条件は約 850 °C、1.1GPa と見積もられた。これらの温度圧力条件を用いて、黒雲母および燐灰石と共存した流体の f_{HCl}/f_{H_2O} を見積もると、流体の f_{HCl}/f_{H_2O} は、ザクロ石のコアからリムにかけて 10 倍以上上昇しており、ザクロ石のコアリム境界で、塩素に富む流体が流入したと言える。なお、塩素に富むメルトとの平衡共存により、塩素に富む黒雲母および燐灰石を形成する場合を考えると、本試料に含まれる塩素濃度の黒雲母および燐灰石を形成するのに十分な高塩素濃度のメルトの存在は考えにくく、塩素に富む流体流入を支持する。塩素に富む流体流入と同時期に晶出したと考えられる、ザクロ石リムに包有される丸い粗粒ジルコンからは、LA-ICP-MS による U-Pb 年代測定により 603±14Ma の値を得た。すなわち塩素に富む流体は、大陸衝突による高温変成作用を被った時期とほぼ同時期の 603±14Ma に約 800 °C、0.8GPa に流入したと言える。また、マトリクスに分布する丸い粗粒ジルコンからは 564 ± 17 Ma を得た。本試料では、ザクロ石コアにモナズ石が多数包有され、リムにジルコンとゼノタイムが多数包有される傾向がある。また、産状によるモナズ石の組成に着目すると、ザクロ石リムに包有されるモナズ石は、ザクロ石コアに包有されるモナズ石よりも Th に乏しく Y に富む傾向がある。すなわち塩素に富む流体の流入によって LREE, Th が抜け、HREE, Zr, Y が添加されたことを示唆する。

塩素に富む流体流入の痕跡であると考えられる塩素に富む黒雲母は、ザクロ石の包有物として、セール・ロンダーネ山地において線状に分布し、各露頭は主要な延性剪断帯近くに位置する。したがって、塩素に富む流体活動は、大陸衝突プロセスにおいて、主要な現象の一つである可能性がある。本研究で塩素に富む流体活動の年代値を決定できたのは、流体流入と同時期に晶出したジルコンの粒子を認識できたためである。年代測定可能な REE に富む鉱物の形成条件を知ることは、年代値の意味を正しく解釈する上で重要である。本研究で明らかとなった塩素に富む流体活動による REE に富む鉱物の挙動は、天然で実際に起きている流体活動に伴う年代測定可能鉱物の消長を理解する上で役に立ち、既存のジルコンやモナズ石の年代値の解釈も、流体活動を考慮して再検討する余地がある。

キーワード: 塩素, 流体流入, グラニュライト相, セール・ロンダーネ山地, 希土類元素

Keywords: chlorine, fluid infiltration, granulite facies, Sor Rondane Mountains, REE

低圧型変成帯の広域温度上昇マップ -山口県東部領家帯を例にして- Thermal anomaly map in low P/T type metamorphic belt -Case study of the Ryoke meta- morphitic belt in the eastern Yamaguchi

菅原 雄^{1*}, 池田剛¹

Yu Sugawara^{1*}, IKEDA, Takeshi¹

¹九州大学

¹Kyushu University

過去の地殻の断片と考えられる低圧型変成帯の field P-T 曲線の多くは、60 - 150 /km 程度の勾配を持つ。この勾配は定常的な大陸地殻がもつ 15 /km 程度の地温勾配に比べて遥かに高いために、低圧型変成帯の形成に何らかの熱輸送プロセスがあり、高い地温勾配を持つにいたったと考えられている (De Yoreo et al., 1991)。この熱輸送プロセスについては、古典的には花崗岩質メルトの地殻貫入による熱伝導が提案されている (例えば Hunson and Barton 1989 など)。近年では、単純な熱伝導モデルでは観察される地温勾配を再現できないとして、浸透的な花崗岩質メルトの移流による熱輸送モデルが提案されている (Miyazaki, 2007 など)。また、花崗岩類の分布域と変成帯の高温領域が一致しないことから、高温流体の注入を想定する研究もある (例えば Hoisch, 1987 など)。これらのモデルの妥当性は、変成帯の温度圧力構造を精度よく求めることで評価できるだろう。

本研究は、西南日本山口県東部地域に産する典型的低圧型変成帯である領家帯をテストフィールドとし、以下の手法を用いて低圧型変成帯の温度上昇マップを作成し、熱源の候補となりうる古期領家花崗岩の分布と比較した。

[手法]

本研究で見積もられた温度ならびに Ikeda(2004) の温度条件から、地域が熱せられる以前の温度の値を引き、領家変成作用による温度変化 (T) を見積もった。

[結果]

調査地域は 500 以上の温度変化がある領域となかった領域の二つの領域に分けられた。前者の領域は、東部から西部へ延びるザクロ石 堇青石帯、それと隣接する西部側の珪線石 カリ長石帯の最も温度と圧力条件の低い領域、同じく、ザクロ石 堇青石帯の北側に隣接するカリ長石 堇青石帯の高压側に相当し、後者はそれ以外の地域に相当する。

[手法]

低圧型変成帯の形成に花崗岩類が関与したと言う仮説の妥当性を検討するため、地域の $T > 500$ の領域と $T < 500$ の領域における古期領家花崗岩類の量を調べた。なお、地質図データは Nishimura, et al.,(1995) を使用した。

[結果]

$T > 500$ の領域より $T < 500$ の方が、古期領家花崗岩類の分布域が広いことが分かった。また、 $T > 500$ の領域の長軸方向が、変成岩の面構造の走向、および古期領家花崗岩の面構造の走向と一致することが明らかになった。

[考察]

$T > 500$ の領域に古期領家花崗岩が少ないことは、古期領家花崗岩による単純な熱伝導モデルが不適切であることを意味する。このことは、以下の可能性を示唆する。

：高温 H₂O 流体が地殻の高温化の原因であり、温度上昇が大きい領域において花崗岩の量が広く分布する必要はない (例えば, Hoisch, 1987)。

：花崗岩質メルトの流速や注入継続時間が熱輸送の重要なプロセスを担う。少量のメルトでも注入速度が遅い場合や、注入継続時間が長い条件では周囲の温度を大きく上げるので、温度上昇が大きい領域が花崗岩質の量が多いとは限らない (Miyazaki, 2007)。

：広域地質図には記載されないような小規模花崗岩質メルトが熱輸送の重要なプロセスを担う。小規模花崗岩メルトの候補としては、変成岩の面構造を作る優白質部の部位が挙げられる。

$T > 500$ の領域の走向の長軸方向と変成岩の面構造の走向が一致することはこのモデルの妥当性を示しているのかもしれない。

キーワード: 変成岩, 低圧型変成帯, 領家帯, 温度圧力構造, 広域温度上昇マップ

Keywords: metamorphic rock, Low P/T metamorphic belt, Ryoke belt, Thermobaric structure, Thermal anomaly map

吉備高原権現山の捕獲岩から推定される西南日本下部地殻構造と発達史 Structure and growth of the lower crust beneath SW Japan: constraints from xenoliths in Cenozoic alkaline basalts

井形 瑛梨^{1*}, 岩森 光¹
Eri Igata^{1*}, Iwamori Hikaru¹

¹ 東京工業大学理工学研究科地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

Felsic continental crust is thought to be unique to the Earth and is important to constrain material circulation of the crust-mantle system throughout its history. The continental crust is estimated to be chemically stratified; the upper crust is considered to be felsic and the lower crust to be mafic. The crustal materials may interact with the mantle via subduction of crustal materials and/or delamination of the lower crustal rocks. However, lack of a direct evidence of such processes, in particular the latter for the lower crust, prevents us from understanding evolution of the crust-mantle system even in a qualitative sense. The purpose of this study is to constrain a timing of formation and growth mechanism of the lower crust, which will provide fundamental information to discuss evolution of the continental crust and the mantle.

Subduction zones are thought to be a site of continental growth and differentiation. We have conducted detailed analyses of various types of xenoliths in alkali basalt from the Gongen volcano in the Kibi plateau, SW Japan. As we particularly concern the formation and growth timing of it, zircon U-Pb age dating has been conducted, as well as petrology of the xenoliths.

We have collected total 40 xenoliths and observed them using optical microscope and electron probe micro analysis (EPMA). The xenoliths consist of various rock types; peridotite, gabbro, pyroxenite, anorthosite and quartzite. Based on the petrological analysis including EPMA and phase relation study, gabbro, anorthosite and quartzite are likely to have derived from the lower crust. Among the xenoliths, pyroxenite may represent a dense igneous cumulative materials located around the Moho beneath the area. Temperature of the pyroxene cumulate is estimated to be 810 degree C based on olivine-spinel geothermometry [Fabries, 1979]. Anorthosite, in which corundum is observed, exhibits Al-rich bulk compositions. Kyanite and garnet are observed in quartzite xenoliths. The kyanite-bearing quartzite xenoliths, which is estimated to have been formed in granulite facies, exhibits silica-rich and CaO-poor bulk compositions, indicating that sedimentary materials are incorporated into the lower crust of the SW Japan.

To constrain the formation age and the underplating process of sedimentary rocks, we have measured U-Pb ages of zircon crystals in the lower crustal xenoliths. Based on the zircon U-Pb age and petrological analyses, structure and growth process of the lower crust beneath SW Japan is discussed.

キーワード: 下部地殻, ゼノリス, 西南日本, ジルコン年代

Keywords: lower crust, xenolith, south west Japan, zircon U-Pb age

南部マリアナ前弧マントルウェッジの変形構造～特に南チャモロ海山かんらん岩捕獲岩について～

Development of olivine crystal-fabrics in the southern Marian forearc mantle wedge: insights from S. Chamorro Seamount.

近藤 洋裕^{1*}, 道林 克禎¹, 藤井 彩乃¹, 石井 輝秋², Patricia Fryer³

Yosuke Kondo^{1*}, Katsuyoshi Michibayashi¹, FUJII, Ayano¹, Teruaki Ishii², FRYER, Patricia³

¹ 静岡大学, ² 深田地質研究所, ³ ハワイ大学

¹Shizuoka University, ²Fukada Geological Institute, ³University of Hawaii

伊豆・小笠原・マリアナ弧で確認されている蛇紋岩海山は、火山起源の海山とは異なり蛇紋岩の断層に沿った上昇によって形成されたと考えられている [Fryer et al. 2012 Annu. Rev. Marine. Sci.]。マリアナ弧の蛇紋岩海山は、パンリッド海山を最北端としてディープブルー海山まで南北に約 650km、海溝軸から約 50～90km の前弧に分布する。本研究では特に南チャモロ海山のかんらん岩試料の構造岩石学的特徴を明らかにして、南部マリアナ前弧側のマントルウェッジ構造を考察した。南チャモロ海山はグアム島の約 100km 東側、マリアナ海溝軸から約 85km に位置する。形はやや東西に伸びたほぼ円錐形であり、山頂は水深 2975m 底部は水深約 5000m である。研究した岩石試料はマントル由来かんらん岩であり、主にハルツバージャイトであり他に少量のダナイトを含む。ほとんどの試料は蛇紋岩化作用を強く受けており、組織や粒径などの微細構造の観察は困難である。これらの岩石試料について、かんらん石の結晶方位測定とかんらん石・スピネルの主要元素組成分析を行った。結晶方位測定の結果について、かんらん石ファブリックは [010]-fiber タイプと [100]{0kl} タイプの 2 つのタイプを示した。他の海山では、南チャモロ海山のように 2 つのファブリックを示す例は存在しない。[100]{0kl} タイプはメルトを含まない高い流動応力下で、[010]-fiber タイプは低い差応力下でメルトを含んだ状態で発達することが変形実験から報告されている [例えば Kohlstedt & Holzman, 2009 Annu. Rev. Earth Planet.]。化学組成分析の結果について、スピネルの Cr# は 0.4?0.8、かんらん石の Mg# は 89～92 であった。これらの化学組成は OSMA [Arai, 1994 Chem. Geol.] に含まれる。さらに南チャモロ海山のような幅の広い Cr# を持つ海山は他には確認されない。かんらん石とスピネルの化学組成を使用した温度計では [100]{0kl} タイプは 700 度、[010]-fiber タイプは 800～850 度であった。[010]-fiber タイプはメルトが存在するようなサブソリダス条件で形成されることからマリアナ前弧のような低温領域のマントルウェッジで形成するのは考えにくい。一つの可能性として、[010]-fiber タイプは太平洋プレートがフィリピン海プレートに 50Ma 頃に沈み込む以前のリソスフェア構造であり、[100]{0kl} タイプは太平洋プレートの沈み込みが開始して以降のマントルウェッジ先端部の局所的な変形構造または蛇紋岩泥火山に関連した地下構造を反映しているのかもしれない。

キーワード: かんらん岩, 蛇紋岩, 結晶方位ファブリック, [010]-fiber タイプ, [100]{0kl} タイプ, 沈み込み帯

Keywords: peridotite, serpentinite, crystal fabric, [010]-fiber type, [100]{0kl} type, subduction

オマーンオフィオライトモホ遷移帯塩基性岩に発達したウルトラマイロナイト帯の形成過程

Development of an ultramyylonite zone within the mafic rocks in the Moho Transition Zone, Oman Ophiolite

古畑 圭介^{1*}, 道林 克禎¹

keisuke furuhata^{1*}, Katsuyoshi Michibayashi¹

¹ 静岡大学理学部地球科学科

¹ Department of Geosciences, Shizuoka University

本研究は、オマーンオフィオライト地殻-マントル境界を横切る延性剪断帯の構造発達過程を明らかにすることを目的とした。延性剪断帯はフィズ岩体モホ遷移帯のマフィック岩に発達した。この延性剪断帯にマイロナイトは見られず、ウルトラマイロナイトが幅広く分布する。延性剪断帯周辺の弱・中変形岩は深成岩特有の等粒状組織を残し、局所的に斜長石と少量の角閃石で構成される細粒な動的再結晶領域が見られた。細粒領域を構成する斜長石はウルトラマイロナイトではほぼ一定の粒径であった。斜長石の結晶方位定向配列は、弱・中変形岩では(010)[100]パターンと(001)[100]パターンを示し、ウルトラマイロナイトはランダムであった。これらの変化は、転位クリープから粒径依存クリープへの変形メカニズムの変化を示唆する。また、ウルトラマイロナイトでは角閃石の量比が多かった。さらにXRFによる全岩化学組成分析と合わせて、この延性剪断帯への水の流入と元素移動が示唆された。本剪断帯の強い局所化について、強い差応力によって斜長石が細粒化しながらすべり面として発達した。このすべり面に沿って水が流入して形成された角閃石が母岩の鉱物よりも変形しやすいために、剪断帯内部で歪軟化を促進して歪の強い局所化が起きたのかもしれない。

キーワード: ウルトラマイロナイト, ガブロ, 塩基性岩, 剪断帯

Keywords: ultramyylonite, gabbro, mafic rock, shear zone

南アフリカカープバルクラトンリソスフェア起源粗粒かんらん岩の微細構造発達過程

Microstructural development of coarse granular peridotite derived from Kaapvaal cratonic lithosphere, South Africa

木野 雅史¹, 道林 克禎^{1*}, 片山 郁夫², 小宮 剛³, 萬年 一剛⁴, 鍵 裕之⁵, 岡本 敦⁶

Masashi Kino¹, Katsuyoshi Michibayashi^{1*}, Ikuo Katayama², Tsuyoshi Komiya³, Kazutaka Mannen⁴, Hiroyuki Kagi⁵, Atsushi Okamoto⁶

¹ 静岡大学大学院理学研究科地球科学専攻, ² 広島大学大学院理学研究科地球惑星システム専攻, ³ 東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻, ⁴ 神奈川県温泉地学研究所, ⁵ 東京大学大学院理学系研究科地殻化学実験施設, ⁶ 東北大学大学院環境科学研究科

¹Department of Earth Sciences, Shizuoka University, ²Department of Earth and Planetary Systems Science, Hiroshima University, ³Department of Earth Science & Astronomy, University of Tokyo, ⁴Hot Springs Research Institute of Kanagawa Prefecture, ⁵Geochemical Research Center, Graduate School of Science, The University of Tokyo, ⁶Graduate School of Environmental Studies, Tohoku University

キンバーライトは、クラトンの深部 70~250km に位置する上部マントルで形成され、地上まで高速で上昇した火成岩である。このキンバーライトに捕獲されたかんらん岩は、クラトン下の上部マントルにおける組成や組織を記録している。アフリカ南部キンバリーパイプで採取されるかんらん岩捕獲岩は、明瞭な面構造や線構造を示さない Granular タイプと、明瞭な面構造を示す Foliated タイプの 2 つに分類される。特に Granular タイプのかんらん岩については微細構造に関する研究が少なく、さらに先行研究では粗粒であるため測定点が少なくより詳細な解析が必要とされた。本研究ではかんらん岩捕獲岩の線構造・面構造を肉眼観察し、直交する 3 面で薄片をそれぞれ複数枚作成して解析を行った。かんらん岩捕獲岩は 3 5 試料から、複数枚の薄片を作成することのできる比較的大きなかんらん岩捕獲岩 5 試料を選別した。Granular タイプのかんらん岩捕獲岩の構造及び岩石学的特徴を明らかにし、定常状態のマントル構造を明らかにするため、主要鉱物化学組成分析、微細構造解析、さらには含水量の測定を行った。5 試料のかんらん岩は全てガーネットハルツバージャイトである。さらに構成鉱物として単斜輝石を含まない 2 試料と単斜輝石をわずかに含む 3 試料に分けられた。単斜輝石はメルトによって 2 次的に形成されたことが先行研究によって明らかにされており、2 次的な単斜輝石を含まない 2 試料をグループ 1、2 次的な単斜輝石を含む 3 試料をグループ 2 に分けた。グループ 1 のかんらん岩からは丸みを帯びたざくろ石が観察され、グループ 2 のかんらん岩からは伸長したざくろ石が観察された。かんらん石と斜方輝石の Mg# はグループ 2 の方がグループ 1 よりも低く、グループ 1 とグループ 2 ではかんらん石と斜方輝石の鉱物化学組成において違いがみられた。温度、圧力に関しては 5 試料とも平衡温度は約 1000 °C、平衡圧力は約 40kbar であり、試料間で違いは見られなかった。結晶方位定向配列 (CPO) 解析の結果からは、グループ 1 のかんらん石 CPO は [010] に集中が強く、[100] と [001] はガードル状の集中が見られた。斜方輝石の CPO は [001] に強い集中が見られ、[100] と [010] はガードル状の集中が見られた。一方、グループ 2 のかんらん石と斜方輝石の CPO には集中が見られなかった。含水量の測定では、グループ 1 の丸みを帯びたざくろ石では少なく (約 10ppm)、グループ 2 の伸長したざくろ石では多い (約 50ppm) という明確に異なる結果が得られた。以上の結果を踏まえると、グループ 1 のかんらん岩とグループ 2 のかんらん岩では、平衡温度平衡圧力はほぼ同じであったが、かんらん石と斜方輝石の化学組成に明確な違いがみられた。グループ 1 のかんらん岩がよりメルトの影響を受けることによってグループ 2 のかんらん岩が形成されたことが考えられる。またかんらん石と斜方輝石の CPO はグループ 1 とグループ 2 で異なるパターンを示し、メルトの浸透が微細構造に影響を及ぼしたことが示唆された。ざくろ石の形態に関しては、グループ 1 の丸みを帯びたざくろ石に、メルトとともに水が付加されたことでざくろ石が歪やすくなり、グループ 2 の伸長したざくろ石が形成されたかもしれない。Granular タイプのかんらん岩は定常状態のクラトン下マントルで形成されたと考えられていたが、Granular タイプのかんらん岩の中でもメルトが浸透したかんらん岩とあまりメルトが浸透していないかんらん岩では、微細構造の特徴が異なり、異なる変形履歴をもっているかもしれない。

Keywords: Kaapvaal craton, Kimberlite xenolith, olivine fabrics, metasomatism, seismic anisotropy

炭質物の R1 比の熱変質

Thermal alteration of the R1 parameter of carbonaceous matters

村田 雅美^{1*}, 星野 健一²

Masami Murata^{1*}, Kenichi Hoshino²

¹ 金沢大学大学院自然科学研究科, ² 広島大学大学院理学研究科

¹Grad. School., Kanazawa Univ., ²Grad. Sch. Sci., Hiroshima Univ.

堆積岩中に含まれる炭質物の熟成度は、鉱物組み合わせの制約がなく、最高被熱温度を記録している。そのため、炭質物を用いた成作用や変成作用の程度（温度）との相関について、これまで多くの X 線回折パターン、ビトリナイト (VTN) 反射率及びラマンスペクトルを用いた研究がなれてきた。Burnham and Sweeney (1989) は、加熱時の VTN の熟成度は VTN → VTN + H₂O, VTN → VTN + CO₂, VTN → VTN + CH_n, VTN → VTN + CH₄ という 4 つの独立した併発反応によって進行するとした。Huang (1996) は石炭の加熱実験において熟成度は時間よりも温度によって支配されるとし、VTN 反射率の経験的なモデルを導いた。

炭質物の熱成はラマンスペクトルの R1 比 (D/G ピーク強度比) によっても示される。Muirhead et al. (2012) は炭質物の高速加熱実験により、400 – 1000 の温度では 20 秒程度の加熱でもラマンスペクトルに顕著な変化が現れることを明らかにし、成熟度の程度と温度と被熱時間との相関式 (速度則), $R1 = B + 0.441557 \exp(-402/T) \cdot t^{(T \cdot 6.04E-5 + 0.011304)}$ ($R1 = D1/G$, B: 初期値, T: 温度, t: 加熱時間) を提唱した。しかし、彼らの R1 比は本来の強度比ではなく面積比である可能性があり、また、彼らは隕石中の炭質物を用いており、このラマンスペクトルは泥岩の炭質物のラマンスペクトルとは異なるため、泥岩の被熱温度の解析には適さない。

そこで本研究では、島根県津和野市に分布するジュラ紀付加体の鹿足層群の泥質岩を用いて、290・500・800 の温度での加熱実験を、数分から数十分の時間で行い、個々の炭質物の熟成度の被熱温度・時間依存を検討した。同層群の泥質岩中の炭質物の反射率により炭質物の被熱温度は 284 ± 20 と推定され、また、加熱実験前のラマンスペクトルが示す R1 比は約 0.5 であった。

500 の加熱実験は、500 に達してから直ちに冷却し、同じサンプルで更に 1 分・4 分・10 分・20 分・30 分・60 分間 500 で保持した実験を繰り返した。800 の加熱実験は、800 に到達してから直ちに冷却し、同じサンプルで更に 2 分・5 分・10 分・20 分間 800 で保持した実験を繰り返したものと、800 に到達してから 5 分間保持し冷却する実験を行った。

500 の実験によるラマンスペクトルの変化は、加熱時間が長くなるとともに R1 比が大きくなるものと、短時間の加熱で R1 比は大きくなるが、その後の更なる過熱により加熱前の R1 比と同程度の値に戻り、再び大きくなるものの 2 種類が見受けられた。また、800 の実験によるラマンスペクトルの変化は、各過熱実験後の R1 比が 1.5 以下のままの炭質物と、1.5 以上になる炭質物が認められ、1.5 以上になる炭質物の R1 比には加熱時間との相関は認められなかった。これらの相違は炭質物の元物質の相違によるのであろう。

以上より、R1 比の速度則を求めると、Muirhead et al.(2012) の式の t の指数よりも約 10 倍大きく、R1 の時間依存は大きい結果となった。これは本研究で用いた炭質物の初期 R1 比が Muirhead et al.(2012) の初期 R1 比よりも大きく、また、両者の元物質が異なることに起因すると考えられる。従って、炭質物の熟成度を速度則として用いる場合、その初期値依存を考慮すべきであろう。

キーワード: 炭質物, R1 比, ラマン

Keywords: carbonaceous matters, R1 ratio, Raman

ボヘミア山塊のザクロ石橄欖岩に見られる単斜輝石巨晶の微量元素組成分析と熱履歴への示唆

Trace-element analyses of clinopyroxene megacryst in garnet lherzolites from the Bohemian Massif

苗村 康輔^{1*}, 平島崇男², 牧賢志², 小澤一仁¹, 平田岳史²

Kosuke Naemura^{1*}, Takao Hirajima², Kenshi Maki², Kazuhito Ozawa¹, Takeshi Hirata²

¹ 東京大学大学院理学系研究科地球惑星科学専攻, ² 京都大学大学院理学研究科 地質学鉱物学教室

¹Department of Earth and Planetary Science, The University of Tokyo, ²Department of Geology and Mineralogy, Faculty of sciences, Kyoto University

大陸衝突帯に産する高圧/超高压変成岩中にはマントル由来のザクロ石橄欖岩が普遍的に見られる。これまでザクロ石橄欖岩の起源として(1)高温のスピネル橄欖岩から圧力上昇・温度低下により相転移した説 (Medaris et al., 2005; Lithos, 82, 1-23)、(2)蛇紋岩や緑泥石橄欖岩から累進変成作用によって相転移したとする説 (Naemura et al., 2009; J. Petrol., 22, 593-603) の2説が提案されてきた。この論争を解決するために、本研究では新たに見いだした単斜輝石巨晶 (cm サイズ) を用いてザクロ石橄欖岩の「温度圧力履歴」の再検討を行った。

研究対象はチェコ共和国・ボヘミア山塊南部の2地点に見られる数メートル規模のザクロ石橄欖岩体 {Lom pod Libinem (LPL) 地域と Plesovice (PQ) 地域} であり、レンズ状・層状の橄欖岩が花崗岩質の高温・高圧グラニュライト中に産出する。先行研究からこれらのザクロ石橄欖岩の高圧鉱物共生はザクロ石 + カンラン石 + 斜方輝石 + 単斜輝石 ± クロムスピネル ± 金雲母 ± 角閃石で構成され、その平衡条件はそれぞれ、1020 C/2.5 GPa・940 C/2.9 GPa (± 90 C/0.6 GPa) と推定されている (Medaris et al., 2005, Naemura et al., 2009)。これらのザクロ石橄欖岩共生は減圧時にスピネル橄欖岩共生 (770 C/1.5 GPa ± 70 C/0.5 GPa) に部分的に置換されている

今回微量元素分析を行った単斜輝石巨晶の粒径は約 1~3cm であり、周囲を比較的細粒 (mm-size) のザクロ石橄欖岩共生で取り囲まれている。この単斜輝石巨晶は、プレブ状・ラメラ状の Ca 角閃石に加えて、金雲母、カンラン石、斜方輝石、アパタイト、± ferrite chromite (YCr^{0.8}; YFe³⁺>0.05)、± ハットン石 (ThSiO₄) などを包有している。LPL 地域から採集した 3 cm 大の単斜輝石では、結晶中心部で Al₂O₃ や Na₂O に乏しい (それぞれ、1.0 wt. %, 0.8 wt. %) が、包有物に富むマントル部を境にして Al₂O₃ が急激に増大し、Na₂O も若干増加する (それぞれ、2.0wt. %, 1.2 wt. %)。最外縁部のリムでは Al₂O₃ がさらに増大し、Na₂O が減少する (それぞれ、3.0 wt. %, 0.8 wt. %)。CaO 量はコアからマントルに向かってやや減少している (約 22.0 ~ 20.5 wt.%)。この単斜輝石巨晶の微量元素組成分析を行った結果、ストロンチウム、鉛、LRE 元素に富み、HFS 元素に極めて乏しく、流体の関与を示唆する。希土類元素について見ると、結晶コア部では REE 量全体が乏しく LREE/HREE 勾配はやや緩やかである {(Yb/Gd)N=9 ± 5} (コンドライト規格化)。このような REE・Al・Na に乏しい単斜輝石は比較的低温で形成された緑泥石かんらん岩の単斜輝石に特徴的に見られる。その外側のマントル部では LREE に比べて HREE の枯渇が顕著となり {(Yb/Gd)N=17 ± 4}、HREE に富むザクロ石との共存を示唆する。リム部は REE 全体に富み勾配が再び緩やかとなり {(Yb/Gd)N=7 ± 2}、ザクロ石分解によるスピネルかんらん岩相での再平衡を示唆する。

一方、PQ 地域から採集した約 7 mm 径の単斜輝石は、結晶中心部で Al₂O₃、Cr₂O₃、Na₂O に乏しく (それぞれ 2.0 wt. %, 0.5 wt.%, 1.2 wt. %)、リムに向かって増大する (それぞれ 3.6 wt. %, 0.8 wt.%, 1.9 wt. %)。またコアからリムに向かって CaO が減少する (22.0 wt. % ~ 20.0 wt. %)。この PQ 地域の単斜輝石巨晶の微量元素分析からも鉛・Sr・LRE 元素に富み、HFS 元素に乏しい傾向から流体の関与が示唆される。この巨晶リム部付近の希土類元素パターンは比較的急勾配を示し {(Yb/Gd)N=20 ± 6}、ザクロ石と共存したと考えられる。リム部でザクロ石と共存しているが、これはかんらん岩が減圧期の再平衡を免れている (ザクロ石のケリファイト化程度が低い) などの特徴と一致する。

以上の情報に基づいて、ボヘミア山塊南部のザクロ石橄欖岩の初期熱履歴の復元を試みる。まず、LPL 地域ではアルミに乏しい単斜輝石巨晶コア部は緑泥石橄欖岩相の鉱物共生で安定であったことが示唆される。アルミに乏しい化学組成から、単斜輝石巨晶コア部は低温の緑泥石橄欖岩 (T > 700 C) で安定であり、この低温鉱物組み合わせが加熱履歴を経験して、高圧のザクロ石橄欖岩に相転移したと考えられる。一方、PQ 地域ではアルミに乏しい単斜輝石巨晶コア部はすでにザクロ石と安定に存在しており、リム部で起きているチェルマック成分の増加は昇温もしくは減圧を示唆する。

結論として、ボヘミア産ザクロ石橄欖岩の中には、ザクロ石カンラン岩相以前に比較的低温の緑泥石橄欖岩由来のものが存在し、それらがバリスカン期の衝突運動による沈み込み運動で温度圧力が増大した結果ザクロ石橄欖岩に相転移したと考えられる。

キーワード: 造山型橄欖岩, 大陸衝突, ボヘミア山塊, 沈み込み, 単斜輝石巨晶

Keywords: orogenic peridotite, continental collision, Bohemian massif, subduction, clinopyroxene megacryst

Evolution of Archean high-pressure granulites from the Namakkal Block, southern India Evolution of Archean high-pressure granulites from the Namakkal Block, southern India

George Paul Mathews^{1*}, TETSUMARU, Itaya², KENJI, Horie³, TOMOKAZU, Hokada³, SATISH-KUMAR, Madhusoodhan⁴, KRISHNAN, Sajeew¹

George Paul Mathews^{1*}, TETSUMARU, Itaya², KENJI, Horie³, TOMOKAZU, Hokada³, SATISH-KUMAR, Madhusoodhan⁴, KRISHNAN, Sajeew¹

¹Centre for Earth Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore, India, ²Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Sciences, Okayama, Japan, ³Geoscience Group, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo, Japan, ⁴Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, Niigata, Japan

¹Centre for Earth Sciences, Indian Institute of Science, Bangalore, India, ²Research Institute of Natural Sciences, Okayama University of Sciences, Okayama, Japan, ³Geoscience Group, National Institute of Polar Research, Tachikawa, Tokyo, Japan, ⁴Department of Geology, Faculty of Science, Niigata University, Niigata, Japan

The Namakkal Block of Southern Granulite Terrain is bounded by Salem-Attur Shear Zone to its North and Cauvery Shear Zone to its South. Major litho-units are meta-gabbro, charnockites, granites, hornblende-gneiss, pyroxene granulites, ultramafics and iron formations. Here we describe the high-pressure granulites /retrogressed eclogites (meta-gabbro) from three key localities which are found along the verge of shear zones.

The meta-gabbros exposed in the Devannur-Mahadevi area are located in the southern part of Namakkal Block. They are associated mainly with iron formations, two-pyroxene granulites and websterites. Mg-rich garnet porphyroblasts coexist with the magnesium rich clinopyroxenes porphyroblasts, changing partially to amphiboles and plagioclase along the grain boundaries and fractures. Garnet contains clinopyroxene and quartz inclusions. On the other hand, garnet inclusions in clinopyroxene are not observed. Both garnet and clinopyroxene have exsolution lamellae of rutile or Ilmenite, which formed during retrogression and exhumation. Rutile is also present in the matrix assemblage. It is noted that orthopyroxene is totally absent. The pressure and temperature condition of the peak mineral assemblage (Grt+Cpx+Qtz) are about 21 kbars 900°C, respectively that are determined through isochemical phase diagram.

Retrogressed eclogites/high-pressure granulites are also reported from the Sittampundi area located in the southwest of Namakkal Block, where the opx free meta-gabbroic rocks are associated amphibolites and layered anorthosite. Sajeew et al. (2009) found relict omphacite inclusions in garnet porphyroblasts and described the eclogite facies conditions (about 25 kbar and 1020°C). Amphibole and plagioclase are the retrograde phases in these samples. The U-Pb zircon age from the high-pressure granulites gives 2490 Ma (Sajeew et al., unpublished). The high-pressure granulites are also found in several places towards the North of Namakkal Block. The most notable occurrence is at Kanjamalai near Salem town. The U-Pb zircon ages from the associated rocks also yield 2490 Ma (Anderson et al., 2012, George et al., unpublished). These rocks with geological and textural similarity in the southern localities contain orthopyroxene. Moreover, these samples also have significant variation in the mineral chemistry with high iron content. The pressure and temperature of meta-gabbros are estimated to be about 19 kbar and 800°C, respectively.

Thus, the mineral chemistry and geochronological studies of the high-pressure granulites in a traverse from North to South suggest that the Namakkal block had undergone late Archean metamorphism. Hence, the region possibly represents various levels of a subducted basaltic oceanic crust, with the lower crust to the South and the middle crust to the North. A comprehensive geochemical study, including Rb-Sr and Sm-Nd isotopes as well as zircon SHRIMP age dating are underway, which will be significant in discussing the geotectonic architecture of Namakkal Block of Southern Granulite Terrain in late Archean.

References

Anderson, J.R., Payne, J.L., Kelsey, D.E., Hand, M., Collins, A.S., Santosh, M., 2012. High-pressure granulite at the dawn of the Proterozoic. *Geology* 40, 431-434.

Sajeew, K., Windley, B.F., Connolly, J.A.D., Kon, Y., 2009. Retrogressed eclogite (20 kbar, 1020°C) from the Neoproterozoic Palghat-Cauvery suture zone, southern India. *Precambrian Research* 171, 23-36.

キーワード: High-pressure granulite, Namakkal Block, Subduction zone metamorphism, Late Archean, Oceanic crust
Keywords: High-pressure granulite, Namakkal Block, Subduction zone metamorphism, Late Archean, Oceanic crust

Metamorphic age of the eclogites from the Lake Zone, SW Mongolia Metamorphic age of the eclogites from the Lake Zone, SW Mongolia

Otgonkhoo Javkhlan^{1*}, Akira Takasu¹, Md Fazle Kabir¹, Dash Batulzii², Yondon Majigsuren²
Otgonkhoo Javkhlan^{1*}, Akira Takasu¹, Md Fazle Kabir¹, Dash Batulzii², Yondon Majigsuren²

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

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

The Alag Khadny metamorphic complex in the Lake Zone, SW Mongolia, which is located in the central part of the Central Asian Orogenic Belt, consists mainly of orthogneisses and minor micaschists interleaving marbles including lenses of garnet-chloritoid schists of the Maykhan Tsakhir Formation. Eclogites occur as lenses and boudins in the matrix of orthogneisses and minor micaschists. The peak metamorphic conditions for the eclogites were estimated to be high *P/T* conditions of $T=590-610^{\circ}\text{C}$ and $P=20-22.5$ kbar (Stipska *et al.*, 2010), in contrast the pressure conditions of the garnet-chloritoid schists ($P=10-11$ kbar) are distinctly lower than those of the eclogites, whereas temperature conditions ($T=575-585^{\circ}\text{C}$) are similar (Otgonkhoo *et al.*, 2012).

We discovered the amphibole-rich veins (up to 5 mm in width) are developed in the eclogite bodies. Two types of amphibole-rich veins are distinguished based on the mineral assemblage, i.e. amphibole-sodic plagioclase-phengite (Amp-NaPl-Ph) vein and amphibole-quartz (Amp-Qz) vein. Amp-NaPl-Ph vein consists mainly of amphibole (barroisite), sodic plagioclase, phengite with minor amounts of titanite and quartz. Amp-Qz vein consists of quartz and amphibole (tremolite).

Amphiboles in the Amp-NaPl-Ph vein occur as subhedral prismatic crystals and they are up to 0.5 mm long. They show compositional zoning from barroisite ($\text{Si}=6.97-7.20$ pfu, $\text{Na}_B=0.52-0.68$ pfu, $\text{K}_2\text{O}=0.37-0.46$) cores to Mg-hornblende and/or edenite ($\text{Si}=6.56-7.41$ pfu, $\text{Na}_B=0.22-0.48$ pfu, $\text{K}_2\text{O}=0.18-0.74$) rims with rarely actinolite ($\text{Si}=7.50-7.57$ pfu, $\text{Na}_B=0.07-0.35$ pfu, $\text{K}_2\text{O}=0.10-0.26$) outer-most rims. Whereas the amphiboles in the Amp-Qz vein occur as subhedral prismatic crystals, up to 3 mm long in the matrix of quartz. They show compositional zoning from tremolite ($\text{Si}=7.58-7.62$ pfu, $\text{Na}_B=0.31-0.42$ pfu, $\text{K}_2\text{O}=0.09-0.14$) cores to Mg-hornblende rims ($\text{Si}=7.27-7.49$ pfu, $\text{Na}_B=0.17-0.44$ pfu, $\text{K}_2\text{O}=0.04-0.19$) with rare actinolite ($\text{Si}=7.50-7.67$ pfu, $\text{Na}_B=0.09-0.42$ pfu, $\text{K}_2\text{O}=0.06-0.16$) outer-most rims. Sodic plagioclases ($\text{An}=1-14$) in the Amp-NaPl-Ph vein are of anhedral grain, intercalated with amphiboles and phengites. Phengites ($\text{Si}=6.64-6.92$) in the Amp-NaPl-Ph vein occur as subhedral crystal, up to 0.5 mm across.

The geothermometer of amphibole-plagioclase (Holland and Blundy, 1994) and the geobarometer of Si content of phengite (Massonne and Schreyer, 1987) have been applied for the approximate *P-T* conditions of Amp-NaPl-Ph vein developed in the eclogites. The cores of barroisite and intercalated plagioclase with highest anorthite component ($\text{An}=14$) suggest temperature conditions of $540-580^{\circ}\text{C}$. Si contents of phengite (6.64-6.92 pfu) suggest pressure conditions of >10 kbar.

We obtained K-Ar ages of the Amp-NaPl-Ph vein [603 +/-15 Ma (amphibole) and 612 +/-15 Ma (phengite)] and Amp-Qz vein [602 +/-15 Ma (amphibole)], and we interpret the ages of c. 600 Ma as exhumation age of the eclogite bodies. The obtained ages of the eclogites are distinctly older than $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ phengite ages of c. 540 Ma from the eclogites and garnet-chloritoid schists (Stipska *et al.*, 2010), which are located about 2 km east from the present localities of the veins. These suggest that the eclogites were once exhumed at c. 600 Ma from the high-*P* conditions and juxtaposed with the garnet-chloritoid schists, and the amalgamated sequence of metamorphic rocks was then exhumed together to shallower crustal levels at c. 540 Ma.

References:

Holland and Blundy (1994) *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 116, 433-447.

Stipska *et al.* (2010) *Journal of Metamorphic Geology*, 28, 915-933.

Massonne and Schreyer (1987) *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 96, 212-224.

Otgonkhoo *et al.* (2012) *Japan Geoscience Union Meeting 2011*, session S-MP46 (abstract).

キーワード: K-Ar age, Amphibole-rich veins, Eclogite, Lake Zone, Mongolia

Keywords: K-Ar age, Amphibole-rich veins, Eclogite, Lake Zone, Mongolia

Jadeite-bearing garnet glaucophane schists from the Sambagawa metamorphic belt in the Bizan area, eastern Shikoku, Japan

Jadeite-bearing garnet glaucophane schists from the Sambagawa metamorphic belt in the Bizan area, eastern Shikoku, Japan

Md Fazle Kabir^{1*}, Akira Takasu¹, Mayuko Nakamura¹, Yuki Kondo¹, Masaaki Kainuma¹
Md Fazle Kabir^{1*}, Akira Takasu¹, Mayuko Nakamura¹, Yuki Kondo¹, Masaaki Kainuma¹

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

¹Department of Geoscience, Shimane University, Japan

Discovery of jadeite-bearing garnet glaucophane schists from the Bizan area offers a new locality of eclogite facies metamorphic rocks and extension of the distribution of eclogites to the easternmost part of the Shikoku Island. The Bizan area of the Sambagawa metamorphic belt 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 a melange zone containing tectonic blocks of serpentinite, metagabbro and garnet-amphibolite (garnet-glaucophane schist) occurs within a ductile shear zone between spotted and non-spotted schist zones. Jadeite-bearing garnet glaucophane schists are newly found in the melange zone.

Jadeite-bearing garnet glaucophane schists consist mainly of garnet, jadeite, amphibole (glaucophane and barroisite), epidote, phengite, paragonite, chlorite, albite, rutile, titanite, calcite and quartz. The porphyroblastic garnets are almandine-rich composition and display prograde growth zoning with decreasing X_{Spss} (0.23-0.02), increasing X_{Alm} (0.47-0.66) and slightly increasing X_{Prp} (0.01-0.03) from core to rim. The cores of the garnets contain inclusions of barroisite, epidote, muscovite (Si 6.04-6.15 pfu), chlorite, calcite, titanite and quartz and polyphase inclusions of barroisite +/- epidote +/- chlorite + titanite + quartz assemblage. The rims of garnet contain inclusions of glaucophane, epidote, phengite (Si 6.49-6.73 pfu), paragonite, chlorite, rutile and quartz and polyphase inclusions of jadeite +/- glaucophane +/- epidote + chlorite + titanite + quartz. Impure jadeite inclusions are present throughout garnet grain (X_{Jd} 0.49-0.75, X_{Aeg} 0.19-0.47). Glaucophanes in the matrix contain inclusions of phengite, epidote, chlorite, titanite and quartz and they are partly replaced by barroisite. Phengites (Si 6.61-6.67 pfu) in the matrix contain inclusions of glaucophane, epidote and chlorite. Some large grains of epidotes and chlorites contain inclusions of matrix minerals such as glaucophane, phengite, epidote, titanite and quartz.

The metamorphism of the garnet glaucophane schists is divided into three events based on petrography and chemistry of constituent minerals, i.e. (i) precursor metamorphic event (muscovite inclusions in the garnet cores), (ii) first high-pressure metamorphic event of eclogite facies, and (iii) second high-pressure metamorphic event (large epidote and chlorite in the matrix).

Chloritoid-bearing garnet glaucophane schists lack of jadeite represent multi-stage metamorphic evolution (Kabir *et al.*, 2012; Takasu *et al.*, 2012; Kabir *et al.*, 2013). *P-T* conditions of prograde stage are estimated as 450-500°C and 9-11 kbar (epidote-blueschist facies metamorphic conditions) using inclusion mineral assemblage in garnet core. The peak metamorphic conditions of eclogite facies (550-600°C and 17-19 kbar) are obtained from inclusions minerals in the rims of the porphyroblastic garnets and schistosity-forming matrix minerals. *P-T* pseudosection in the MnNCKFMASH model system and garnet compositional isopleths also consistent with the obtained prograde and the peak metamorphic conditions. Prograde and peak metamorphic conditions of the garnet glaucophane schists are similar to those of newly found lawsonite eclogites in the Kotsu area, eastern Shikoku (Tsuchiya and Hirajima, 2012), probably suggesting both of them have similar metamorphic evolution. Large grains of epidotes and chlorites in the matrix, which contain minerals of the peak metamorphic stage suggest another high-pressure prograde metamorphism occurred and the metamorphism is correlated with the Sambagawa metamorphism in the Besshi area, central Shikoku (Aoya, 2001; Kabir and Takasu, 2010a, b). Both jadeite-bearing and chloritoid-bearing garnet glaucophane schists are considered to experience similar high-pressure metamorphic history.

キーワード: Sambagawa metamorphic belt, Bizan area, garnet-glaucophane schist, eclogite, jadeite

Keywords: Sambagawa metamorphic belt, Bizan area, garnet-glaucophane schist, eclogite, jadeite

スラブ マントルウェッジ境界における二段階の斜方輝岩形成 Two stages of orthopyroxenite formation in the slab-mantle wedge interface

遠藤 俊祐^{1*}, 水上知行², ウォリス サイモン³, 田村明弘², 荒井章司²

Shunsuke Endo^{1*}, MIZUKAMI, Tomoyuki², WALLIS, Simon R.³, TAMURA, Akihiro², ARAI, Shoji²

¹ 産業技術総合研究所 地質情報研究部門, ² 金沢大学, ³ 名古屋大学

¹Institute of Geology and Geoinformation, AIST, ²Kanazawa University, ³Nagoya University

The slab-mantle wedge interface is a site of intensive chemical-mechanical interactions between mantle and crustal rocks in the presence of a slab-derived agent (fluid/melt). Mantle rocks that suffered from Si-metasomatism probably play important roles in subduction interface processes such as mechanical coupling and recycling of volatile and incompatible elements, although the detailed petrological structure of the subduction interface and its spatial-temporal evolution are not well-understood.

We focus on the two important processes of orthopyroxenite formation along the slab-wedge mantle interface. One is metasomatic replacement of peridotite via the reaction $Ol + SiO_2$ (slab partial melt or solute-rich fluid) = Opx (R1). This process can occur at high-T conditions such as seen at forearc depths of infant subduction zones or subarc depths of matured subduction zones. The other is dehydration of Si-enriched serpentinite via the reaction $Tlc + Atg = Opx + H_2O$ (R2). This reaction takes place at low-T eclogite facies conditions and may be responsible for the maximum depth of decoupled slab-forearc mantle interface.

Natural records of these reactions have been discovered in the Western Iratsu body of the Sanbagawa belt, which consists of metabasaltic and minor ultramafic domains. This mafic-ultramafic complex represents an important natural laboratory to study slab-mantle interactions in an evolving subduction zone environment. Dunite is the major rock type of the ultramafic domain and grades into Opx-rich rocks (orthopyroxenite with a harzburgitic zone at the contact with dunite) at the mafic-ultramafic boundary. In addition, Opx-rich veins crosscut the whole sequence.

The earlier orthopyroxenite is mainly composed of coarse-grained orthopyroxene (Opx1: up to 1.3 wt% Al_2O_3) that include rounded olivine crystals and texturally primary multiphase solid inclusions (MSI). Olivine enclosed in Opx1 in the orthopyroxenite is enriched in Ni (up to 1.1 wt% NiO, Fo88-89) with respect to this mineral in adjacent dunite (up to 0.35 wt% NiO, Fo88-89), suggesting the progress of R1. Cores of Cr-spinel in the Opx1-bearing rocks and dunite show identical compositions (Cr#=0.83-0.87, Mg#=0.20-0.29, $TiO_2 < 0.4$ wt%) that are indicative of a highly depleted forearc mantle origin. These observations, in conjunction with previously constrained P-T-t history of the body, suggest that the Opx1-bearing rocks were formed by reactions between a slab-derived melt and the dunitic mantle wedge during the earliest stage of the subduction zone development. MSI in Opx1 probably represent remnants of residual melt/fluid after the progress of R1. LA-ICPMS analyses of MSI and the host Opx1 reveal that the residual melt/fluid (and also metasomatic agent) is rich in LILE, U, Th and LREE and only minor fraction of them resides in Opx1. Therefore, the metasomatic formation of orthopyroxenite permits transportation of the reactive slab-derived agent into the mantle wedge and recycling of the slab-derived incompatible elements.

The later orthopyroxene-rich vein consists of euhedral prismatic Al-poor orthopyroxene (Opx2: $Al_2O_3 < 0.04$ wt%) in association with antigorite, chlorite and tremolite. The mineral assemblage and the composition and morphology of Opx2 suggest Opx2-bearing veins were formed via R2 in the eclogite facies conditions. Before the dehydration veining, dunite and/or Opx1-bearing rocks must have suffered from hydration to form antigorite and talc by influx of H_2O -rich fluid. Opx2 is significantly lower in HFSE (Nb, Ta, Zr, Hf, Ti) and higher in fluid mobile elements (Li, B, Cs and Rb) than Opx1, supporting this interpretation.

キーワード: 斜方輝岩, 交代作用, マントルウェッジ, 三波川帯

Keywords: orthopyroxenite, metasomatism, mantle wedge, Sanbagawa belt

沈み込み帯の深さ 80km におけるスラブ-マントル結合の重要性 The importance of slab-mantle coupling at 80 km depth in subduction zones

ウォリス サイモン^{1*}
Simon Wallis^{1*}

¹ 名大地球惑星科学教室

¹Dept Earth Planet. Sci., Nagoya University

Subduction zones are complicated regions with fluid flow, earthquakes, melting and metamorphism, and ductile deformation, all interacting. One of the major controls on these processes is temperature. Thermal modeling suggests that the temperature of subduction zones is largely determined by the balance between cooling due to inflow of cold lithosphere and heating due to the flow of hot mantle towards the slab due to induced convection in the wedge mantle. Understanding this flow in the mantle wedge has been a major topic of research in the geodynamics of subduction zones.

Direct evidence for solid-state flow in the mantle wedge is provided by heat flow patterns across convergent margins. Few margins are very well characterized and the arc region is associated with local heat sources such as magmatic intrusions that are a cause of large scatter in the data. Nevertheless, the available data suggest mantle convection occurs at depths greater than around 70 to 90 km irrespective of the age of the slab.

Flow in the mantle wedge is thought to be restricted to regions where there is strong coupling between the downgoing slab and overlying mantle. Shallow levels in subduction zones are more weakly coupled. As a result of the decoupling, the corner of the wedge mantle undergoes cooling and hydration to form a cold nose.

Thermal modeling predicts a kink should exist in the thermal structure along the subduction boundary corresponding to the depth at which strong coupling between the mantle and slab become effective. The study of subduction-type metamorphism provides information on the P-T conditions close to the subduction boundary and can potentially be used to identify this type of kink in the thermal structure and, hence, to constrain the depth of strong coupling in ancient subduction settings. The Sanbagawa belt is a rare example of where this has been proposed and suggests induced flow at a depth of around 65 km.

The available evidence suggests the depth of coupling is roughly the same in all subduction zones. This common depth of coupling can help explain the common depth to the slab beneath volcanic arcs. The mechanism responsible for a change from weak to strong coupling is, however, not well known. Dehydration of antigorite and other weak hydrous phases may play a role. However, the temperature at the onset of the thermal kink is different for different subduction zones and so such a mechanism cannot explain the common depth.

The Sanbagawa belt preserves a series of peridotite bodies derived from the mantle wedge, which have experienced metamorphism at depths from 30 to greater than 100 km. The boundaries of these bodies are, therefore, fossil examples of the subduction boundary. This area is ideal for studying the controls on the coupling.

キーワード: 沈み込み帯, マントルウェッジ, 結合, スラブ
Keywords: subduction zone, wedge mantle, coupling, slab

四国中央部別子地域三波川帯五良津東部岩体の変成作用

Metamorphism of the Eastern Iratsu mass in the Sambagawa metamorphic belt, Besshi district, central Shikoku, Japan

高須 晃^{1*}, 西岡克知¹, Kabir, Md F.¹Akira Takasu^{1*}, Katsuchika Nishioka¹, Kabir, Md F.¹¹ 島根大学¹ Shimane University

四国中央部三波川変成帯にはエクロジヤイトを伴う高変成度岩体が存在する。そのひとつの五良津岩体は原岩やざくろ石の累帯構造の違いから西部眼帯と東部岩体に区分された(高須・上阪, 1987)。Takasu (1989)によると, 五良津東部岩体の原岩は層状斑れい岩であり(坂野ほか, 1976), その変成履歴はグラニュライト相 エクロジヤイト相 藍閃石片岩相 エクロジヤイト相 緑れん石角閃岩相(三波川変成作用)である。一方, Ota et al. (2004)は五良津岩体を東部と西部に区分せず, 周囲の三波川結晶片岩とともにを受けたとした。

櫻井・高須(2006)・岡本ほか(2009)により, エクロジヤイトのざくろ石の核部と縁部に包有物として高圧変成鉱物を包有するジルコンが報告された。ジルコンは反射電子線像において累帯構造が発達し, 明るく見える核部と相対的に暗く見える縁部に区分できる。核部は石英, アパタイト, フェンジャイト, 緑れん石, ルチル, 一方, 縁部は石英, フェンジャイト, アパタイト, 緑れん石, 曹長石, パラゴナイト, オンファス輝石(XJd<0.72), ルチル, 藍閃石, マグネシオカトフォル閃石, Fe-Mg角閃石を包有する。また, 縁部のうち中心に近い部分に曹長石, 外縁部側にオンファス輝石が包有されるものがある。ジルコンはざくろ石の核部に包有されていること, ジルコンはオンファス輝石を包有することから, ジルコンの成長時期はTakasu(1989)によって提案された高温エクロジヤイト相であると考えられる。また, ジルコンは藍閃石, 曹長石, 緑れん石, フェンジャイトおよびパラゴナイトを包有することから, グラニュライト相の条件の後, 高温のエクロジヤイト相の変成条件に至る前に藍閃石片岩相が存在したと考えられる。

五良津東部岩体中に残存するグラニュライト(Yokoyama, 1976)はグラノプラスチック組織を示す透輝石, 頑火輝石, 灰長石(An>90)とこれらの鉱物の粒間に形成されたマグネシオホルンブレンド, パーガス閃石から構成される。マグネシオホルンブレンドはグラニュライトの透輝石を包有し, 透輝石よりも後に形成されたものである。また, パーガス閃石は劈開に沿ってマグネシオホルンブレンド, トレモラ閃石に置換され, さらにそれに沿って高Mgざくろ石(XPrp<0.45)が晶出している。

グラニュライトの組織と一部の鉱物(透輝石)を残したざくろ石角閃岩において, 高Mgざくろ石はグラのプラスチック組織を示す粗粒鉱物の粒間に晶出し, 透輝石, オンファス輝石(XJd=0.24-0.44), Ca/Na-Ca角閃石(パーガス閃石, マグネシオホルンブレンド, エデン閃石, トレモラ閃石, パロア閃石), 緑れん石, 曹長石(An<5), 曹灰長石(An62), パラゴナイトを包有している。高Mgざくろ石に包有されるこれらの鉱物は, グラニュライト相, 角閃岩相, 緑れん石角閃岩相, エクロジヤイト相などのさまざまな変成条件で形成された可能性がある。

以上の結果は, 五良津東部岩体の原岩は層状斑れい岩体であり, 1) グラニュライト相変成作用(角閃岩相 - 緑れん石角閃岩相), 2) 高温エクロジヤイト相変成作用(藍閃石 エクロジヤイト相), 3) 低温エクロジヤイト相変成作用(藍閃石 エクロジヤイト相), 4) 緑れん石角閃岩相変成作用(狭義の三波川変成作用)の複雑な変成作用を経たことを示す。

引用文献

坂野ほか, 1976, 地質学雑誌, 82, 199-210

岡本ほか, 2009, 日本地質学会第116年学術大会講演要旨集, 116

Ota et al., 2004, Lithos, 73, 95-126

櫻井・高須, 2006, 日本地質学会学術大会講演要旨 113, 135.

Takasu, 1989, Geol. Soc. Spec. Pub., No. 43, 533-538.

高須・上阪, 1987, 地質学雑誌, 93, 517-520.

Yokoyama, 1976, Jour. Geol. Soc. Japan, 82, 549-551.

キーワード: 三波川変成帯, 五良津岩体, グラニュライト, エクロジヤイト

Keywords: Sambagawa metamorphic belt, Iratsu, granulite, eclogite

水圧破碎と流体浸透による周期的沈殿構造：平尾石灰岩における球状大理岩の例 Hydrofracturing, fluid flow, and rhythmic precipitation of carbonates in marble: An example of orbicular marble

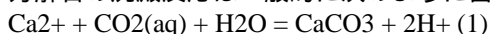
西山 忠男^{1*}, 浦田健作²Tadao Nishiyama^{1*}, Kensaku Urata²¹ 熊本大学自然科学研究科, ² 大阪経済法科大学¹ Graduate School of Science and Technology, Kumamoto University, ² Osaka University of Economics and Law

北九州市の平尾台を構成する平尾石灰岩は、白亜紀の花崗岩類により接触変成作用を受けた古生代の石灰岩体と考えられている (Fukuyama et al., 2004)。この平尾石灰岩は田川変成岩と接するが、その境界付近の露頭で、球状大理岩を発見した。この球状大理岩は、塊状大理岩中に幅 1m ほどの狭い帯をなして、南北に 20m ほど延長した分布をなす。周囲の塊状大理岩中には、この球状大理岩と平行に数条のドロマイト脈 (幅数 mm から 5cm) が発達する。球状大理岩帯内部には、径数 cm ないし 10 数 cm の角礫状大理岩岩塊が多数含まれ、それらの周囲に同心円状構造をなしてドロマイトと方解石の薄層が交互に 10 数層発達しているのが観察される。薄層の厚さは 1-2 mm から 5-6 mm 程度で一定していない。個々の球状大理岩の間は比較的厚い (2-3 cm) ドロマイトの層が埋めている。また角礫状大理岩がジグソーパズル状の組織を示す部分も観察される。粘土や細粒の破碎物質などは観察されない。球状大理岩と周囲の塊状大理岩の境界は密着している。

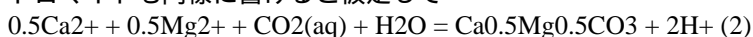
上に述べた産状から、この球状大理岩帯は水圧破碎によって形成された破碎帯に流体が浸透して、破碎により形成された角礫状大理岩岩塊の周囲にドロマイトと方解石を交互に沈殿させてできたものと考えられる。単なる機械的破碎ではなく、水圧破碎であるとする根拠は、上に述べたジグソーパズル状組織の存在と細粒破碎物質がないことの 2 点である。平尾石灰岩中には Nishiyama (1989) が記載したような水圧破碎の構造が局所的に発達することから、この球状大理岩帯も花崗岩に由来する流体の圧力で破碎された水圧破碎帯の一種であると推定される。

この球状大理岩の成因に関する定量的なモデルはまだできていないが、以下では非線形動力学モデルによって、ドロマイトと方解石が交互に沈殿する現象を定性的に説明する。

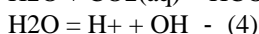
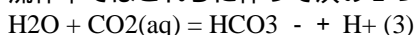
方解石の沈殿反応は一般的に次のように書かれる (たとえば Fein and Walther, 1989)。



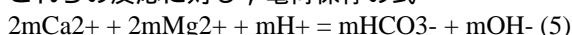
ドロマイトも同様に書けると仮定して



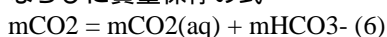
流体中ではこれらに伴って次の 2 つの反応が生じていると考えられる (Fein and Walther, 1989)。



これらの反応に対し、電荷保存の式



ならびに質量保存の式



が成り立つ。ここで m は重量モル濃度 (molality) である。トラパーチンなどの熱水からの炭酸塩鉱物の沈殿は、 CO_2 の脱ガスに伴う pH の上昇により駆動されると考えられており (たとえば Gratier et al., 2012)、問題の球状大理岩における炭酸塩鉱物の沈殿も同様のメカニズムによると仮定する。方解石とドロマイトの生成速度は反応 (1) (2) より

$$\frac{dn_{\text{Cc}}}{dt} = k_1 [\text{K}_{\text{Cc}} \text{Ca}^{2+} + \text{aCO}_2(\text{aq}) \text{aH}_2\text{O} - \text{aH}^+] A/V \quad (7)$$

$$\frac{dn_{\text{Do}}}{dt} = k_2 [\text{K}_{\text{Do}} \text{Ca}^{2+} + \text{aMg}^{2+} + \text{aCO}_2(\text{aq}) \text{aH}_2\text{O} - \text{aH}^+] A/V \quad (8)$$

と書ける。全ての反応は 1 次反応と仮定している。 K_{Cc} , K_{Do} はそれぞれ方解石とドロマイトの平衡定数で、 k_1 , k_2 は速度定数である。 A/V は比表面積 (面積/溶液の体積) である。理想希薄溶液を仮定し、モル濃度は活動度に等しいとする。この時 (5) より

$$\text{aMg}^{2+} = -\text{aCa}^{2+} + \text{K} \quad (9)$$

と書ける。ここで $\text{K} = (\text{aHCO}_3^- + \text{aOH}^- - \text{aH}^+)/2$ は沈殿の過程で大きく変動しない正の定数と仮定する。こうすると (8) は (9) を用いて

$$\frac{dn_{\text{Do}}}{dt} = k_2 [\text{K}_{\text{Do}} \text{Ca}^{2+} + (-\text{aCa}^{2+} + \text{K}) \text{aCO}_2(\text{aq}) \text{aH}_2\text{O} - \text{aH}^+] A/V \quad (10)$$

となり、 Ca^{2+} の活動度の 2 次式となる。水の活動度は希薄溶液ではほぼ 1 に等しいので (7) 式と (10) 式は aCa^{2+} , $\text{aCO}_2(\text{aq})$, aH^+ の 3 変数の式となる。そこで $\text{aCO}_2(\text{aq})$ を一定とした aCa^{2+} vs. aH^+ の平面内での解の挙動を議論する。(7) と (10) のヌルクライン ($dn/dt = 0$ の式で表わされる線) は第 1 象限のある点で交わる。それが平衡点である。溶液の初期組成が、ドロマイトのヌルクラインの上方にあったとし、 aH^+ の低下とともに溶液組成がヌルクラインの下方に入るとドロマイトが沈殿し始める。溶液組成が方解石のヌルクラインに達すると、ドロマイトの沈殿は止み、Ca が拡散に

SMP43-16

会場:303

時間:5月24日 15:15-15:30

よって供給されることで溶液組成は $a_{Ca^{2+}}$ が上昇し、再びドロマイトのヌルクラインに達する。ここから方解石を沈殿させながら、溶液の a_{H^+} が上昇し、方解石のヌルクラインに到達する。ここで方解石の沈殿は止み、溶液は拡散によって Ca を減少させ、再度ドロマイトのヌルクラインに向かう。こうして溶液組成は平衡点の周囲を回りながら、ドロマイトと方解石を交互に沈殿させることになる。このモデルはやや強引な近似や仮定を含んでいるが、ドロマイトと方解石の周期的沈殿を定性的に説明できるもっとも単純なモデルである。

キーワード: 周期的沈殿, 水圧破碎, 流体移動, ドロマイト, 方解石, 球状大理岩

Keywords: periodic precipitation, hydrofracturing, fluid flow, dolomite, calcite, orbicular marble

変成帯の粘性流動と温度構造の時間発展

Viscous flow and thermal evolution of metamorphic belt

宮崎 一博^{1*}

Kazuhiro Miyazaki^{1*}

¹産総研 地質情報研究部門

¹GSJ AIST

変成帯を粘性率が異なる2相粘性流体からなると仮定し、熱拡散と単純剪断変形を加えた場合どのような構造ができるか調べた。粘性率が2桁異なる2相を剛体の板ではさみ単純剪断変形を加えた。仮想変成帯の厚さは3kmである。剪断方向へは9kmで繰り返す周期境界条件を与えた。粘性率は 10^{23} Pa s と 10^{21} Pa s とした。剪断速度は1cm/y と -1cm/y、熱伝導率は2.5 W/m/Kとした。上下の板は600 と 800 で温度一定とした。

結果は、どの時点でも変成帯内の温度構造は上下の板に垂直な温度勾配を示す単純なものであった。与えられている熱伝導率と変成帯の厚さを考えると10万年程度で熱的定常状態に達する。従って、10万年以上の時間スケールでは変成帯内部の温度構造は上下の熱境界で固定されてしまい、変化しない。

個々の岩石の滞在時間が低温での拡散や加水反応の進行に比べ短いと、岩石に凍結されるのはピーク温度である。そのような場合、変成帯の温度構造も、個々の岩石に記録されたピーク温度を空間的につなげたものとなる。そこで、仮想変成帯の各構成要素が獲得したピーク温度を使いマッピングした。ピーク温度分布で見ると、周囲より低温もしくは高温の領域が薄く板状に繰り返す興味深い構造が形成されていた。見かけの温度勾配をみると、実際には存在しない非常に大きな勾配が随所で認められる。粘性不均一を与えない場合、このような構造は出現しない。従って、この構造は、低粘性の領域が剪断変形により選択的に引き延ばされることにより生じると考えられる。

多くの変成帯で観察される片理に垂直な方向の大きな見かけの温度勾配は、低粘性の岩体の選択的引き延ばしによって生じる可能性が指摘できる。

キーワード: 変成帯, 粘性流動, 温度構造

Keywords: Metamorphic belt, viscous flow, thermal structure

変成縞構造ープレート境界の移動リーゼガングパターン metamorphic banding-moving Liesegang patterns in the plate boundary

鳥海 光弘^{1*}, 福山 繭子²

mitsuhiro toriumi^{1*}, Mayuko Fukuyama²

¹ 海洋研究開発機構, ² 秋田大学

¹JAMSTEC, ²Akita university

Recent studies of parallel metamorphic bands in plate boundary rocks revealed that the band front advances accompanied with metasomatic instability by Toriumi and Fukuyama (2012) during the large scale hydration metamorphism of the plate boundary rocks, judging from waveform interface between band and matrix. The chemical reactions at the front are dissolution of matrix minerals and precipitation of metasomatic minerals together with grain boundary fluid lens partially connected and networked together with neighboring fluid lenses. Advancing fronts of the bands should be controlled also by diffusion of ionic species of constituent minerals through the network of the fluid lenses.

In the plate boundary metamorphic rocks of Sanbagawa and Alpine and also Franciscan have abundant albite bands and spots. These bands and spots of albite contain commonly inclusion trails of matrix mineral grains, indicating replacement of albite after matrix.

Considering these evidences, it is confirmed that the metamorphic band is just the precipitation band behind the diffusion front of solution penetrating the network of fluid lenses of the rock. In this case, we will propose the simple band formation model by albite replacement after chlorite in the basic metamorphic schists in the greenschist facies and low pH conditions as follows:



In this system, ionic concentrations of every species are governed by the following reaction-diffusion equations;

$$C_{i,t} = D_i C_{i,xx} + R_i(C_j) \quad (i, j = \text{Na}^+, \text{Mg}^{2+}, \text{Al}^{3+}, \text{H}^+, \text{NaAlSi}_3\text{O}_8, \text{aq})$$

where D_i and R_i are the diffusion constant and reaction term, respectively. These reactions comprise the system of inhibitor (H^+) and activator (Na^+) of ionic solutes with respect to precipitation of albite and dissolution of chlorite. Thus, it should have precipitation pattern like general Liesegang patterns (Izak and Lagzi, 2005). In this presentation, we would like to propose the dynamic Liesegang type metasomatism in plate boundary hydration metamorphism in the wide range of spatio-temporal scales.

References

Toriumi, M., Fukuyama, M., 2012, Geol. Soc. Japan, 2012 Meeting Abstract

Izak, F., and Lagzi, I., 2005, J. Phys. Chem., A, 109, 630-733.

キーワード: 変成縞, 反応拡散方程式, リーゼガング, プレート境界

Keywords: metamorphic band, reaction-diffusion equation, Liesegang, plate boundary