

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 Hoyoza 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 metamorphism

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ス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 ultramylonite 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: ultramylonite, 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 健一²Masami Murata^{1*}, Kenichi Hoshino²¹ 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。

炭質物の熱熟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 H₂O-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。

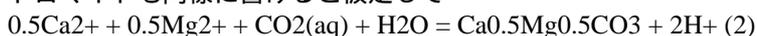
上に述べた産状から、この球状大理岩帯は水圧破碎によって形成された破碎帯に流体が浸透して、破碎により形成された角礫状大理岩岩塊の周囲にドロマイトと方解石を交互に沈殿させてできたものと考えられる。単なる機械的破碎ではなく、水圧破碎であるとする根拠は、上に述べたジグソーパズル状組織の存在と細粒破碎物質がないことの 2 点である。平尾石灰岩中には Nishiyama (1989) が記載したような水圧破碎の構造が局所的に発達することから、この球状大理岩帯も花崗岩に由来する流体の圧力で破碎された水圧破碎帯の一種であると推定される。

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。

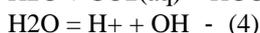
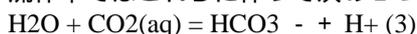
方解石の沈殿反応は一般的に次のように書かれる (たとえば Fein and Walther, 1989)。



ドロマイトも同様に書けると仮定して



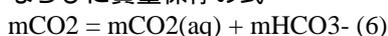
流体中ではこれらに伴って次の 2 つの反応が生じていると考えられる (Fein and Walther, 1989)。



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

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

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

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

$$a\text{Mg}^{2+} = -a\text{Ca}^{2+} + \text{K} \quad (9)$$

と書ける。ここで $\text{K} = (a\text{HCO}_3^- + a\text{OH}^- - a\text{H}^+)/2$ 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

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

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 $a\text{Ca}^{2+}$, $a\text{CO}_2(\text{aq})$, $a\text{H}^+$ の 3 変数の式となる。そこで $a\text{CO}_2(\text{aq})$ を一定とした $a\text{Ca}^{2+}$ vs. $a\text{H}^+$ 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、 $a\text{H}^+$ 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

流体が支配的な系における変成作用の相平衡熱力学 Thermodynamic equilibrium for fluid-dominant metamorphic systems

桑谷 立^{1*}, 鳥海 光弘²

Tatsu Kuwatani^{1*}, mitsuhiro toriumi²

¹ 東京大学大学院新領域創成科学研究科, ² 海洋研究開発機構地球内部ダイナミクス領域

¹Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo, ²IFREE, JAMSTEC

Classical metamorphic petrology has generally considered chemical equilibrium only among solid phases, but not among solid phases and aqueous species in the intergranular fluid (aqueous solution). It has been implicitly assumed that the chemistry of fluid is entirely buffered by the coexisting minerals. On the other hand, hydrothermal chemistry has modeled that the generation and extinction of the minerals are mostly controlled by the aqueous chemistry in the coexisting water. In most cases, however, the formulation in hydrothermal systems has treated minerals only as pure components but not as solid solutions (e.g. Reed 1983; Henley 1984). In this study, we develop the unified thermodynamic model that seamlessly integrates both the classical concept of metamorphic petrology and the concept of hydrothermal chemistry. The incorporation of the amount of water and chemistry of the aqueous species into the theory of the metamorphic equilibria enables us to investigate the water-rock interaction in metamorphism and metasomatism. In the numerical modeling, the rock shows a wide variety of mineral assemblages according to the amount of water, or the water/rock ratio, even in the same pressure, temperature and bulk-composition conditions. With the increase of water, the number of phase decreases and eventually the system becomes bimineralic or monomineralic. The present model will be the basis for the future study of the various reaction textures such as the formation of the metamorphic banding and the pseudomorphic replacement.

スリランカの arrested チャーノックイト形成に伴う有色鉱物のモード変化 Change of modal abundance of mafic minerals during formation of arrested charnockite in Sri Lanka

山崎 由貴子^{1*}, 池田 剛¹, 本吉 洋一², 廣井 美邦³, プレーム バーナード⁴

Yukiko Yamasaki^{1*}, IKEDA, Takeshi¹, MOTOYOSHI, Yoichi², HIROI, Yoshikuni³, PRAME, Bernard N.⁴

¹九州大学, ²国立極地研究所, ³千葉大学, ⁴スリランカ地質調査所

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

スリランカ中央部には、普通角閃石 - 黒雲母片麻岩中に数十 cm スケールで局所的にチャーノックイトが産している。このようなタイプのチャーノックイトは arrested チャーノックイトと言われる。山崎 他 (2012) では、スリランカ中央部に産するチャーノックイトと周囲の片麻岩の普通角閃石と黒雲母の組成に有意な差を検知し、暫定的に以下の反応を提案した。

$\text{Ti-rich biotite} + \text{quartz} = \text{Ti-poor biotite} + \text{orthopyroxene} + \text{ilmenite} + \text{alkali feldspar} + \text{H}_2\text{O}$

$\text{Ti-rich hornblende} + \text{quartz} = \text{Ti-poor hornblende} + \text{orthopyroxene} + \text{ilmenite} + \text{anorthite} + \text{albite} + \text{alkali feldspar} + \text{H}_2\text{O}$

粒間流体の H₂O 活動度が減少すると、これらの反応が右辺側に進行して斜方輝石を生成する。しかしチャーノックイト化が片麻岩中のどのような部分から、どのように進行したかということは未だわかっていない。周囲の片麻岩中の片麻状構造は、チャーノックイト内部まで追跡できるが次第に不明瞭になり、中心部では認識できない。従ってチャーノックイト中にはチャーノックイト化以前の情報が保存されている可能性がある。そこで本研究では片麻岩からチャーノックイトへの普通角閃石、黒雲母、斜方輝石の量比の変化を記載した。

片麻岩中での普通角閃石と黒雲母の量比はチャーノックイトに近づくと減少し、境界から約 12cm 地点で普通角閃石 7.9%、黒雲母 6.9%から、境界付近の普通角閃石 5.0%、黒雲母 5.5%となる。チャーノックイトに入ると、普通角閃石 1.7%、黒雲母 4.1%に激減し、その後内部に向かって普通角閃石 0.06%、黒雲母 1.6%に漸減する。これに対して斜方輝石の量はほぼ一定である (平均 3.3%)。

黒雲母は片麻岩中では優白質部と優黒質部のどちらにも産しているのに対し、チャーノックイト中では優黒質部のみに限られる。また斜方輝石は優黒質部やその延長線上に産する。

普通角閃石と黒雲母がチャーノックイト内部ほど多く分解したとするならば、生成される斜方輝石の量も多くなるはずである。しかし、これは観察事実と反する。チャーノックイトに向かって普通角閃石と黒雲母が漸減する傾向が、チャーノックイト化が起こる前の片麻岩にも維持されていたとするならば、一定量の普通角閃石と黒雲母を消費して斜方輝石を生成すると、残った普通角閃石と黒雲母はチャーノックイト中心部へ向かって減少することになり、現在の観察事実と一致する。この仮説は、不均質な片麻岩中の優白質部で選択的にチャーノックイト化が進行した可能性を示している。

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

Keywords: Sri Lanka, arrested charnockite, hornblende-biotite gneiss

東南極リュッツホルム岩体のザクロ石角閃岩にみられるコロナの微細構造 Microstructure of corona of garnet amphibolites from the Lutzow-Holm Complex, East Antarctica

島田 麻美^{1*}, 池田 剛¹
Asami Shimada^{1*}, Takeshi Ikeda¹

¹九州大学

¹Kyushu University

はじめに

コロナとは、ある鉱物の周囲を別の鉱物や鉱物の集合体が環状に取り囲む構造のことである。これは中心の鉱物とマトリクスの鉱物の反応によって形成されたと考えられている。この反応を特定することによって、コロナ形成時に岩石にどのような成分が入りたり、どのように温度圧力が変化したりしたのを知ることができる。またコロナ構成鉱物の微細構造は反応の継続時間や、岩石の歪み量を知る手がかりとなる。そこで本研究では、東南極リュッツホルム岩体に産するコロナを対象とし、微細組織、コロナ中の黒雲母の粒径、構成鉱物の化学組成の記載をした。

地質概要

リュッツホルム岩体では北東から南西に向かって、変成相が角閃岩相からグラニュライト相へと移り変わっている。その中の東オングル島にはグラニュライト相の変成岩類が広く分布する。主要な岩石はザクロ石片麻岩と角閃石片麻岩である。ザクロ石片麻岩の中には、ザクロ石斑状変晶を含む角閃石主体の超塩基性岩が薄層として存在する。この岩石中のザクロ石と角閃石の間には斜長石と黒雲母から成るコロナが発達する。

微細組織

マトリクスには角閃石の多い領域と斜長石の多い領域が存在し、どちらの領域も主に角閃石、斜長石、褐色の黒雲母、斜方輝石から成る。角閃石の多い領域に直径約15mmのザクロ石斑状変晶が産する。ザクロ石の表面には0.5mm程度の凹凸が発達する。凹部の延長上には、丸みを帯びた不定形のザクロ石(長軸長0.10~0.45mm)が産することもある。このザクロ石の周囲に発達するコロナは主に斜長石、緑色の黒雲母から成る。緑色の黒雲母の粒径はザクロ石から離れるにつれ大きくなる。ザクロ石の凹部では、黒雲母の長軸方向は境界にほぼ直交する。

粒径分布

コロナ中の全黒雲母粒子(約3300個)の面積を画像解析ソフト(ImageJ)を使用して測定し、円相当径を求めた。肉眼で粒径の違いが識別できる3つの領域(ザクロ石に近い側から領域)に分けて粒径分布図を作成した。いずれの領域でも平均値より細粒側に最頻値をもち、粗粒側になだらかに頻度の減少する分布を示し、 、 は対数正規分布に似る。 の方が に比べて分散が大きい。

化学組成

ザクロ石の内部は均質で、リムはそれよりFeに富み、Mgに乏しい。コロナの斜方輝石はマトリクスのものに比べAlに富み、Si, Fe+Mgに乏しい。マトリクスの斜長石はコアからリムへ $X_{an} = 0.38$ から0.46の累帯構造を示すのに対し、コロナでは $X_{an} = 0.65$ から0.84と組成差の大きい累帯構造をもつ。コロナの黒雲母はマトリクスのものに比べAlに富み、Si, Ti, K+Naに乏しい。

考察とまとめ

コロナ中の黒雲母の粒径分布が対数正規分布であることは、従来の研究より、核形成率が減衰しながら核形成と成長を続けていたことを意味する。つまり高温であるにもかかわらず、再結晶が有為に働いていないことを示唆する。よってコロナの形成時間は、焼きなましの期間を経るほど長くはなかったと考えられる。

モードと化学組成から推定したコロナの全岩組成は、マトリクスのザクロ石、角閃石、斜長石の組成から予想される全岩組成に比べてKに富みFeに乏しい。このことはコロナ形成時に流体を介してKが外部から供給され、Feが溶脱したと考えられる。

キーワード: 東南極, リュッツホルム, コロナ

Keywords: East Antarctica, Lutzow-Holm Complex, corona

南極, リュツォ・ホルム岩体, ラングホブデのザクロ石片麻岩中のジルコンのSHRIMP
U-Pb年代
SHRIMP U-Pb zircon dating of garnet gneiss from the Lutzow-Holm Complex at Langhovde,
East Antarctica

加藤 睦実^{1*}, 廣井 美邦¹
Mutsumi Kato^{1*}, Yoshikuni Hiroi¹

¹ 千葉大学大学院理学研究科

¹ Graduate School of Science, Chiba University

The Lutzow-Holm Complex of East Antarctica is one of Pan-African metamorphic terranes that formed as a part of the East Gondwana supercontinent amalgamation. The LHC is considered to have experienced a typical clockwise pressure-temperature-time path, as indicated by the presence of relict kyanite and staurolite inclusions within garnet and plagioclase in sillimanite-rich pelitic granulites and the development of reaction textures characteristic of near-isothermal decompression in mafic to ultramafic rocks (e.g., Hiroi et al., 1991). The timing of peak regional metamorphism within the sillimanite stability field is constrained to be 520-550 Ma by SHRIMP U-Pb dating on zircon (Shiraishi et al., 1994).

Hiroi et al. (2008) found magmatic andalusite in garnet-bearing pegmatite for the first time from the granulite facies Langhovde area of the LHC. The andalusite-bearing pegmatite intrudes garnet-biotite-sillimanite gneiss, and between them, garnet gneiss that does not contain both andalusite and sillimanite is sometimes formed. In order to constrain the timing of andalusite formation, we performed an ion microprobe (SHRIMP) dating of zircons in the garnet gneiss, and obtained an apparent population of U-Pb ages at ca. 525 Ma, that is almost contemporaneous with the timing of peak metamorphism in the LHC. We discuss the significance of the zircon U-Pb age from the garnet gneiss.

References

Hiroi, Y., Shiraishi, K. and Motoyoshi, Y. (1991) Late Proterozoic paired metamorphic complexes in East Antarctica, with special reference to the tectonic significance of ultramafic rocks. Geological Evolution of Antarctica (Thomson, M.R.A et al. Eds.). Cambridge University Press, 83-87.

Hiroi, Y., Motoyoshi, Y., Hokada, T. and Shiraishi, K. (2008) Magmatic andalusite in the granulite-facies metamorphic area near Syowa Station, Antarctica. The 28th symposium on Antarctic Geosciences, Program and Abstract, October 2008.

Shiraishi, K., Ellis, D. J., Hiroi, Y., Fanning, C. M., Motoyoshi, Y. and Nakai, Y. (1994) Cambrian orogenic belt in East Antarctica and Sri Lanka: implications for Gondwana assembly. Journal of Geology, 102, 47-65.

キーワード: 南極, グラニュライト, ラングホブデ, 紅柱石, ジルコン, リュツォ・ホルム岩体

Keywords: antarctica, granulite, Langhovde, andalusite, zircon, Lutzow-Holm Complex

東部ピルバラにおけるメタチャート中の電気石のマイクロブーディング構造を用いた古差応力解析
Palaeo stress analysis using microboudinage structures of tourmaline within metacherts in East Pilbara Terrane

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

¹ 静岡大学創造科学技術大学院, ² 静岡大学理学部地球科学科, ³ 東北大学大学院環境科学研究科

¹Graduate school of science and technology, Shizuoka University, ²Institute of geosciences, Shizuoka University, ³Graduate school of environmental studies, Tohoku University

Granite emplacement is the key process for generation of continental crust during Archaean. We analysed microstructures of tourmaline grains embedded within metacherts in the aureole around the Mount Edgar Granitoid Complex in east Pilbara, Western Australia. The aim of this study is to evaluate stress and strain with respect to progressing deformation in the aureole during the metamorphism in relation to the granite emplacement. The shape preferred orientation of tourmaline grains on the foliation surface revealed that the intensity of lineation depicted by the value of k ranges from 0.6 to 5.4. Higher values of k occur in an area which is previously called sinking zone by several authors. As many tourmaline grains exhibit microboudinage structures, we performed the microboudinage analysis for palaeostress analysis. The estimated palaeodifferential stress ranges from 3.9 to 9.2 MPa. The sample with the highest palaeodifferential stress came from the locality <10 m from the contact between the granite and the greenstone belt. The palaeodifferential stress in the sinking zone is 7.2-9.2 MPa, while that far from the contact is 3.9 MPa. We discuss the relationship between the palaeodifferential stress and the k value in the poster.

キーワード: マイクロブーディング構造, 花崗岩-グリーンストーン帯, メタチャート, 差応力
Keywords: microboudinage structure, granite-greenstone belt, metachert, differential stress

収束プレート境界における s-波スプリッティングのモデリング：アンチゴライトとかんらん石の CPO ファブリックの分布

Modeling shear wave anisotropy in forearc regions: implications for distribution of antigorite and olivine CPO fabrics

永治 方敬^{1*}, ワーカー アンドリュウ², ウーキー ジェームズ², ケンダル マイケル², ウォリス サイモン¹
Takayoshi Nagaya^{1*}, WALKER, Andrew M.², WOOKEY, James M.², KENDALL, Michael J.², Simon Wallis¹

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科地球環境科学専攻, ² ブリストル大学地球科学科

¹Earth & Planet. Sci., Nagoya Univ., ²Sch. Earth Sci., Bristol Univ.

上部マントルでは、マントル固体流動によって olivine が塑性変形し、Olivine の結晶軸選択配向 (CPO) が形成すると考えられている。olivine CPO は、上部マントルで観測される地震波方位・偏向異方性の主要な原因の一つと考えられている。この関係は、地震波異方性の観測から、マントルの流動方向を推定できることを意味しているが、それには上部マントル内の olivine CPO の種類やその分布を明らかにしていることが重要な条件となる。

変形実験の結果に基づいた熱力学モデリングは、沈み込み帯マントル前弧域内の様々な種類の CPO の分布予測に使うことができる (e.g. Kneller et al 2008)。しかしながら、B-type olivine CPO を形成するプロセスとして、定向配列した antigorite との topotactic な olivine の鉱物成長も重要とする説が提唱されている (Nagaya et al., 2012)。このメカニズムは、CPO が塑性変形によってのみ形成されるとした場合より、ウェッジマントル内の B-type olivine CPO の分布が、大幅に広がる可能性を示唆している。

多くの沈み込み帯前弧域では、プレートの移動方向に垂直方向に速い、特有の地震波異方性が観測されている。これら観測事実の一つの説明として、これらの地域のウェッジマントル内に、c 軸が剪断方向に平行、b 軸が剪断面に垂直に集中する B-type olivine CPO が分布していることが挙げられる。東北日本で観測される異方性 (0.1 秒の delay time を持つ S 波スプリッティング) は B-type olivine CPO の存在によって説明することができる (Katayama and Karato, 2006)。

olivine はマントルの主要な鉱物であるが、沈み込み帯マントル前弧域では含水鉱物、特に非常に高い異方性を持つ antigorite も重要な構成鉱物である (olivine の場合、 $V_p=24\%$, $V_s=18\%$; antigorite の場合、 $V_p=46\%$, $V_s=66\%$)。そのため、antigorite の層は比較的薄くても、地震波異方性に大きな影響を与える可能性がある。琉球弧沈み込み帯で観測されるような 1 秒以上の長い delay time をもつ S 波スプリッティングは、急傾斜の沈み込み方向に対して c 軸が垂直に強く配列する CPO を伴った antigorite の存在が原因かもしれない (Katayama et al., 2009)。

地震波異方性のモデリングは、前弧マントル内で様々な CPO パターンの種類やその分布を制約する有効な手段となり得る。私たちは、これまでに三次元的な地震波経路について解析した Kneller et al., (2008) によって使われた手法を発展させ、現在提唱されている東北日本弧と琉球弧のウェッジマントル内の antigorite と olivine の CPO の分布モデルについて検討した。antigorite の異方性はごく最近になって明らかになり、これまで異方性モデリングに適用されたことはなかった。私たちがモデルは近年開発された 2 つの Matlab ツールキットを使っている: MTEX (Hielscher & Schaeben, 2008; Mainprice, 2011) と MSAT (Walker & Wookey, 2012)。私たちは、このモデルを琉球弧と東北日本弧の沈み込み帯に適用し、これら 2 つの沈み込み帯ウェッジマントル内の antigorite と olivine CPO の種類と分布域の制約の可能性について調べる。

[引用文献]

- (1)Kneller, E.A. et al., 2008. Earth Planet. Sci. Lett. 268, 268-282.
- (2)Nagaya, T. et al., 2012. Eos Trans. AGU 93(52) Fall Meet. Suppl., Abstract MR11A-2473.
- (3)Katayama, I., Karato, S., 2006. Phys. Earth Planet. Inter. 157, 33-45.
- (4)Katayama, I. et al., 2009. Nature 461, 1114-1117.
- (5)Hielscher, R., Schaeben, H., 2008. J. Appl. Cryst. 41, 1024-1037.
- (6)Mainprice, D., 2011. Geol. Soc. Lond. Spec. Publ. 360, 175-192.
- (7)Walker, A.M., Wookey, J.M., 2012. Comput. Geosci. 49, 81-90.

キーワード: アンチゴライト, かんらん石, 結晶方位選択配向 (CPO), トボタキシー, MTEX & MSAT, 地震波異方性
Keywords: antigorite, olivine, crystal preferred orientation (CPO), topotaxy, MTEX & MSAT, seismic anisotropy

三波川変成岩のキンクバンドと鉱物中の流体包有物から推定するベインの形成メカニズム

Minerals on the verge of fracturing: fluid inclusions observed in minerals within kink bands

松木 貴希¹, 乾 睦子^{1*}

Takaki Matsuki¹, Mutsuko Inui^{1*}

¹ 国土館大学理工学部

¹ School of Science and Engineering, Kokushikan University

埼玉県長瀬地域では低温高圧型の三波川変成岩が地表に露出しており、その露頭ではベインが多く観察されることが知られている。ベインは岩石の変形と脆性破壊の痕跡である。岩石に大きな力が加わった時にどのように変形し割れ始めるのを知ることは、日本のような地震国においてはとくに重要なことである。そこで本研究では、ベインとキンクバンドとの走向傾斜が近いことに着目し、キンクバンドがベインの形成直前の状態であると推定して観察した。

まず幅約 100 m の露頭においてベインとキンクバンドの軸面の方向を計測して比較した。ベイン 14 本、キンクバンド 24 本の軸面の方向を計測した結果、ほぼ同じ走向傾斜を示すことが分かった。キンクバンドの延長がそのままベインに漸移しているものが観察できたことから、この露頭におけるキンクバンドとベインとはほぼ同じ条件下で形成された可能性が高いことが分かった。

次にキンクバンドの中と外の薄片を作成し岩石中の鉱物の変形した痕跡を探した。その結果キンクバンドの軸面と軸面に挟まれるバンドの部分の石英中に流体包有物が多く観察できた。キンク軸面と軸面に挟まれた約 0.5 × 0.5mm の範囲の石英に、流体包有物の並びから成る直線状の組織が約 100 本以上観察されたのに対して、キンク軸面の外にある石英にはほとんど流体包有物が見られなかった。石英流体包有物の並びの方向は、ほぼキンク軸面と平行なものが多かった。また、同じ部分には微細なベインが多く形成されていた。

以上のことから、キンクバンドは岩石にクラック（その後ベイン）が生じる前段階であることが推定できた。これらの流体包有物の並びがいずれ鉱物の破断につながり、クラックになっていく可能性がある。

キーワード: 三波川変成帯, クラック, ベイン, キンクバンド, 流体包有物, 脈

Keywords: Sambagawa metamorphic belt, crack, vein, kink band, fluid inclusion

神居古潭帯三石蓬莱山地域の蛇紋岩メランジの形成過程について

On the genesis and evolution of serpentinite melange in the Mitsuishi-Horaisan area of the Kamuikotan Zone, Hokkaido.

植田 勇人^{1*}, 鹿野ゆう¹, 三浦命緒¹
Hayato Ueda^{1*}, Yu Kano¹, Mio Miura¹

¹ 弘前大学

¹Hirosaki Univ.

北海道の三石蓬莱山地域は、神居古潭帯高圧変成帯における代表的な蛇紋岩メランジの一つである。当地域の蛇紋岩メランジはざくろ石角閃岩や緑簾石角閃岩などの高変成度ブロックを多く包有することから、神居古潭帯を形成した沈み込み帯深部の情報を残していることが期待されるが、その形成・上昇過程は充分理解されていない。当発表では、新たに作成した地質図と構成岩相の記載から、その形成過程を試論する。

従来メランジとして一括されてきた三石蓬莱山地域の先第三系は、北東から順に高圧変成付加体（青色片岩相）、オフィオライト（低圧変成）、角閃岩塊を含む狭義のメランジ（蓬莱山メランジ）に分帯される。これら三者は中部中新統に不整合で覆われ、全体が閉じた背斜構造を示す。蓬莱山メランジ基質の基質をなす葉片状蛇紋岩の片理には、背斜軸を示唆する低角部や微褶曲が認められないため、片理は背斜形成時かそれ以降に生じた後生的なものである可能性がある。

角閃岩塊は、少量のざくろ石緑簾石角閃岩のほかは緑簾石角閃岩であるが、後者にもざくろ石の仮像（εレリック包有物）がしばしば認められる。角閃石は (I) アクチノライトの残存コア (II) ホルンブレンド又はパロイサイトのマントル (III) アクチノライトのリム1 (IV) アルカリ角閃石のリム2 という組成累帯が普遍的である。I期はスフェーン、II期はルチル+イルメナイト+ざくろ石やその仮像+オリゴクレスまたは曹長石+白雲母+黒雲母、III-IV期はスフェーン+曹長石+フェンジャイト+緑泥石がみられ、IV期にはしばしばアルカリ輝石も伴われる。以上から角閃岩塊には、I 緑色片岩相 II 角閃岩相 高圧部 III 緑色片岩相 IV 青色片岩相の履歴（昇温 冷却）が読み取れる。II期のざくろ石角閃岩で、640-670 1.1GPa、他試料ではやや低温（560-610）が見積もられた。

角閃岩ブロックの周縁にはアクチノライト岩やトレモライト岩（+緑泥石+滑石）がしばしば見られ、角閃岩と蛇紋岩の境界部における反応帯と考えられる。トレモライトのリムやクラックに沿ってアルカリ角閃石が生じた試料も見られるため、反応帯の形成（角閃岩の断片化と蛇紋岩との接合）はIV期に先行すると考えられる。

超苦鉄質岩は、オフィオライト断片と考えられる単斜輝岩~ウェールライトのほかは、アンチゴライト蛇紋岩、かんらん岩~低温型塊状蛇紋岩（メッシュ組織）、葉片状蛇紋岩に大別される。塊状蛇紋岩には、低温蛇紋石のメッシュ組織に先行する少量のアンチゴライトが見られることがあり、初期にはかんらん石+アンチゴライトが安定であったと推察される。アンチゴライト蛇紋岩には、炭酸塩鉱物のほかしばしば透輝石が見られる。以上から蛇紋岩類は、加水初期には部分的にアンチゴライト蛇紋岩化したかんらん岩であり、角閃岩のII-III期に対比される。低温蛇紋石はIV期かその後の上昇過程で生じたと推察される。

当地域の角閃岩類は、I-II期に比較的高い地温勾配（緑色片岩相~角閃岩相）で昇温した後マントルと接合し反応帯を形成し、その後III-IV期にあまり減圧せずに青色片岩相まで冷却したと考えられる。IV期は神居古潭帯主部の高圧変成付加体と同様の変成条件である。また超苦鉄質岩では、角閃岩と接合したII-III期に30-40kmの深部でかんらん岩にアンチゴライトを生じる高温加水作用が不均質に進行した後、残存したかんらん石がIV期以降に低温蛇紋石化したと解釈される。

北海道では、幌加内オフィオライトの設置に伴って、ジュラ紀末までの渡島帯から前期白亜紀の神居古潭帯~イドンナップ帯まで、沈み込み帯がジャンプしたと考えられている。神居古潭帯の角閃岩類は、中央北海道で沈み込みが開始した最初の沈み込み帯変成岩である。角閃岩類に見られる初期の高地温勾配と引き続き等圧冷却的な履歴は、定常的な沈み込み帯で理解するのは難しい。一方で、沈み込み開始時の高温状態（角閃岩相）から定常的な低温の沈み込み帯（青色片岩相）への過程と考えれば説明できそうである。もしそうであれば、蛇紋岩メランジ中のアンチゴライトを含む蛇紋岩塊は、沈み込み開始直後の、初めて含水化しつつあったマントルの断片かもしれない。

北海道神居古潭帯，幌加内-江丹別地域に産出する異なる温度-圧力履歴を示すテクトニックブロックとその意味 Tectonic blocks in the Kamuikotan metamorphic rocks with distinct P-T paths, Etanbetsu-Horokanai district, Hokkaido

岡本 あゆみ^{1*}, 竹下 徹¹
Ayumi Okamoto^{1*}, Toru Takeshita¹

¹ 北海道大学
¹ Hokkaido University

北海道中央部には沈み込み帯の比較的低い地温勾配下で形成された付加体起源の高圧型 (high-*P/T*) 変成岩が露出しており神居古潭変成岩と呼ばれている。一方、本研究で扱う幌加内-江丹別地域では、より高い地温勾配を示す低・中圧型変成作用を受けた角閃岩類が蛇紋岩メランジェや上記高圧型の神居古潭変成岩中に取り込まれ、構造岩塊として産出するとされる(渡辺ほか, 1986)。これらの角閃岩類の変成史およびテクトニクスを議論するためには、角閃岩類の温度-圧力変化(履歴)を厳密に決定することが重要であり、さらに実際の変成岩類の動きの記録である変形構造についても解析を行う必要がある。そこで本研究では同地域の変成岩類(特に角閃岩類)を採取し、鉱物組み合わせおよび変形構造の記載を行ったほか、特に角閃石の組成累帯構造の化学組成分析を行い、さらに熱力学計算を用いて変成岩類の経験した温度・圧力を推定した。その結果、同地域の特徴的な角閃岩類として、石英と角閃石で構成される片状角閃岩、ほぼ角閃石で構成される角閃岩、緑れん石を含む緑れん石角閃岩、ざくろ石・緑れん石を含むざくろ石-緑れん石角閃岩が認められた。さらに、角閃岩類を構成する角閃石は7つの組成累帯構造のタイプに分けることができた。特徴的なものとしては、タイプI: アクチノ閃石から藍閃石、タイプII: マグネシオホルンブレンドからアクチノ閃石を経て藍閃石、タイプIII: チェルマック閃石から藍閃石あるいはマグネシオリーベッカイトになるという組成累帯構造が認められた。タイプIの片状角閃岩には、石英や緑れん石も含まれており、特に石英には著しい塑性変形によるc軸ファブリックの発達が見られる。また、角閃石の組成累帯構造から緑色片岩相から緑れん石青色片岩相への複変成作用が示唆されたが、その過程において冷却を経験したのであれば形成が予想される、パンペリー石やローソン石などの残晶は認められない。そのため、この片状角閃岩はほぼ冷却することなく圧力上昇を被ったと考えられる。さらにタイプIIの角閃岩は、上記の角閃石の組成累帯構造から、マグネシオホルンブレンドが安定な低・中圧型の変成作用を受けた後、アクチノ閃石が安定となる緑色片岩相へ冷却し、その後高圧型の青色片岩相へと圧力が上昇したことが示唆される。タイプIIIのざくろ石-緑れん石角閃岩のざくろ石は、昇温期変成作用の際に成長しており、その後周囲の角閃石と同様に青色片岩相の変成作用を受けたと推察される。これらから推定される温度-圧力履歴より、幌加内-江丹別地域には少なくとも3種類の温度-圧力履歴を持つ角閃岩類が認められることが明らかになった。さらに低・中圧型から高圧型への温度勾配の変化が推定され、沈み込み帯の冷却が示唆された。沈み込み帯の冷却を踏まえると、推定した3種類の温度-圧力履歴を示す角閃岩類は異なる時代に形成された岩石である可能性がある。そのため、幌加内-江丹別地域には異なる温度-圧力-時間履歴を持つ岩体ブロック状になり集まっている可能性がある。

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

沈み込み帯深部におけるウェッジマントルの加水作用

Serpentinite textures and mode of hydration along the ancient subduction zone beneath the Horokanai Ophiolite, Hokkaido,

葛西 竹恒^{1*}

Takechika Kasai^{1*}

¹ 弘前大学教育学部

¹ Hirosaki-Univ.

沈み込みプレート境界では、海洋プレートに取り込まれていた水がマントルのかんらん岩に加わることで蛇紋岩になると考えられている。蛇紋岩はかんらん岩に比べて摩擦係数が低く、その変形特性と地震活動の関連性について注目されている。しかし、実際に深部でどのように水が浸透し蛇紋岩化が進むかは不明な点が多い。

北海道旭川市の北西 30 km に位置する幌加内地域にはマントル起源の蛇紋岩の下位に海洋プレート起源の神居古潭変成岩類が接して分布し、沈み込み帯深部のプレート境界における両岩石の接触関係や元素移動の痕跡が保存されていることが期待される。本発表では、蛇紋岩と変成岩の境界を横断する 2 本の沢における蛇紋石や関連鉱物の産状と加水反応の痕跡を紹介する。

当地域の蛇紋岩はおもに、部分的に初生鉱物を残す低温型蛇紋岩で構成されるが、神居古潭変成岩に近づくにつれてアンチゴライトを含む高温型蛇紋岩が見られるようになる。これに伴い、滑石岩や炭酸塩岩などの反応岩も見られる。アンチゴライトは櫛歯状の細脈として産するほか、かんらん石や斜方輝石の粒界に産し、これらの結晶の外縁に食い込むように成長した産状が多く見られた。また、アンチゴライトを含まない試料では、これらの粒間に滑石が生じた産状も見られた。これらの産状は、微細なクラックのほかに結晶粒間への浸透が、主要な水の供給様式だったことを示す。

また、本地域においてこれまで未報告だった透角閃石や透輝石を含む試料が見られた。それらには、斜方輝石の外縁から透角閃石が成長し、先端で二次的なかんらん石が生じている組織、および劈開のある鉱物（透輝石？）が分解して二次的なかんらん石、透輝石が生じる仮像組織、といった反応組織が観察された。これらの組織や共生関係から、アンチゴライトが不安定な高温で加水が始まり（角閃石かんらん岩）、水が供給されつつ温度が下がり、アンチゴライト蛇紋岩が形成されたと考えられる。水が不足し反応が中断した組織も観察されたため、水の供給は不均質で断続的だったと推測される。

四国中央部, 汗見川流域の三波川変泥質岩中に認められるザクロ石の組成累帯構造と包有物

Compositional zoning and inclusions of garnet in Sanbagawa metapelites from the Asemigawa area, central Shikoku

田口 知樹^{1*}, 榎並 正樹²

Tomoki Taguchi^{1*}, Masaki Enami²

¹ 名古屋大学大学院環境学研究科, ² 名古屋大学年代測定総合研究センター

¹Graduate School of Environmental studies, Nagoya University, ²Center for Chronological Research, Nagoya University

ザクロ石の組成累帯構造とそれに包有された鉱物の種類や化学組成は, 変成岩の P-T 履歴などを読み解くための重要な情報を記録している. 三波川変泥質岩のザクロ石は, 一般に Mn ベル型の組成累帯構造 (normal zoning) を示すことから, それらの多くは三波川変成作用の温度上昇時に核形成と結晶成長を経験したと考えられてきた (Sakai et al., 1985). しかし詳細な岩石学的研究がなされている別子地域では, 融食-再成長を経験した複雑な組成累帯構造 (composite zoning) を持つザクロ石が報告されている (Takasu 1986). また, 汗見川地域では, 変泥質岩中のザクロ石は, normal zoning が大半を占め, 稀に reverse zoning (Itaya, 1978) や sector zoning (Inui, 2010) が認められる.

本研究では, 汗見川地域で採取された変泥質岩中のザクロ石の累帯構造, 包有物の記載, 組織観察そしてザクロ石中の石英の残留圧力値 (P_1) の分析をすることで, 当地域の変成履歴について再検討を行った. 分析した変泥質岩, 計 34 試料は, 汗見川流域の下流から順に Grt, Ab-Bt (lower), Ol-Bt および Ab-Bt (upper) 帯から採取されたものである.

分析の結果, 汗見川地域の変泥質岩中のザクロ石は大半が normal zoning を示したが, Ab-Bt (lower) の一部地域でのみ composite zoning を示すものが認められた. Composite zoning を示すザクロ石は, 融食による逆拡散を示唆するコア-マントル境界での Mn の不連続が確認された.

包有物としては, (1) normal zoning; コア-リム部で Qtz (石英), Ttn (チタナイト), 稀に Pg (パラゴナイト) と Phg (フェンジャイト) の微小な多相包有物が分布, (2) composite zoning; コア部で Rt (ルチル), Ttn, Cz (クリノゾイサイト), Glm (藍閃石) 及び粗粒な単独相の Pg が分布し, リム部は normal zoning を示すものと同様の包有物が分布していた.

石英ラマン圧力計の結果, Grt, Ab-Bt (upper), Ol-Bt 帯の石英の残留圧力値は, 同程度の値 ($P_1 = 4-8 \text{ cm}^{-1}$) を示した. 一方, Ab-Bt (lower) 帯の変泥質岩に含まれるザクロ石には, 高い残留圧力値 ($P_1 = 10-12 \text{ cm}^{-1}$) を保持する石英が普遍的に含まれていた.

本研究によって, Ab-Bt (lower) 帯の composite zoning を示すザクロ石が, 他の鉱物帯と比較して著しく異なる特徴を有していることが判明した. また, composite zoning を示すザクロ石中の包有物として Manon et al. (2008) で提案されている, Grt-Ep-Ttn-Rt 地質圧力計を適用可能な鉱物共生を確認したため, 今後詳細な解析を予定している. これら結果は, 当地域における変成履歴の解析の上で重要な証拠となることが期待される.

キーワード: ザクロ石, 組成累帯構造, 残留圧力, 石英ラマン圧力計, 三波川変成帯

Keywords: garnet, compositional zoning, residual pressure, quartz-Raman barometer, Sanbagawa metamorphic belt

Preliminary 2-D thermal modeling of Proterozoic granulite: a case study of structurally controlled exhumation

Preliminary 2-D thermal modeling of Proterozoic granulite: a case study of structurally controlled exhumation

Kaushik Das^{1*}, Tomoeki Nakakuki¹, Sankar Bose²
Kaushik Das^{1*}, Tomoeki Nakakuki¹, Sankar Bose²

¹Hiroshima University, ²Presidency University, Kolkata, India

¹Hiroshima University, ²Presidency University, Kolkata, India

Deep continental crustal rocks undergone granulite-grade of metamorphism are exposed at the orogenic belts. Mesoproterozoic Eastern Ghats Granulite belt is one such polymetamorphosed and polydeformed terrain. The unique character of this belt is the occurrence of ultrahigh temperature metamorphosed granulites on a regional-scale where the peak metamorphism is estimated to be in excess of 1000 °C at ~8-10 kbars. The reason(s) for such extreme thermal conditions at the deeper parts of the Proterozoic orogen and an appropriate geotectonic setting for such extreme high heat flow are still eluding the geoscientists. Moreover, the exhumation processes and rates of exhumation are one of the least studied areas for the deep interiors of such extremely hot orogen.

Proper structural and petrological assessments, particularly exhaustive analysis of pressure-temperature-deformation-time evolutionary history of Eastern Ghats Granulite belt pave the path to look for exhumation histories. This belt is known to be anisotropic and domainal in terms of isotopic signatures and tectonothermal histories. The domain 2 of this orogenic belt presents the best-studied section showing an overall anticlockwise P-T path evolution with three to four deformation and metamorphic events in an overall possible accretionary orogenic set-up. Regional-scale structural studies along the Vishakhapatnam-Araku transect of domain 2 show imprints of superposed deformation at high angle producing domal structures. Three such large-scale domes are arranged from south-east (Madudavada mega-sheath) to north-west (Anantagiri dome and domal structure near Araku).

The present study is based on the occurrence of aluminous granulite with sapphirine-spinel-aluminous orthopyroxene-cordierite-sillimanite-garnet-biotite-quartz-feldspar near the boundary of the "Maduravada mega-sheath". Fe-Mg compositional profiles of porphyroblastic garnet adjacent to orthopyroxene, and that with adjacent retrograde biotite (fluorine-Ti-Mg-rich) show development of zoning only in the latter case. Geothermometric calculations indicate formation of biotite at ~875 °C during the early cooling, followed by the formation of compositional zoning in adjacent porphyroblastic garnet. In an earlier study, we estimated an anomalously fast cooling rate from this zoning profile of garnet *i.e.*, 12 to 25 °C/Ky, which is several order higher than the normal thermal relaxation rates reported from younger orogenic belts. In the present study, we have tried to formulate a preliminary two-dimensional numerical thermal model using rapid upheaval of deep crust in a compressional tectonic setting through a domal structure having near-vertical foliation planes. The model calculation is based on an initial thermal condition similar to that of known old continental crust having a steady-state geotherm on 100 km wide area with depth of 35 km. An already perturbed geotherm of 900 °C at the lowermost part is then folded up in an antiformal parabolic shape, more or less in the fashion of a diapiric upheaval. The 2-D conductive cooling is then assumed and cooling rates have been calculated at different places from the boundary of the upheaved portions, *i.e.*, 0 to 1.25 km at a depth of 5 km from the surface. We use a finite volume method with an implicit time integration to solve the thermal conduction equation with a radiogenic heat source decaying with the depth. The initial cooling rates of ~10-20 °C/Ky is estimated to be achieved near the boundary with non-linear subsequent decay, similar to the recorded cooling rate from the Fe-Mg zoning profile in the studied rock. The thermomechanical consequence of such deep crustal flow process in presence of partial melt in the overall perspective of the Proterozoic orogen is being checked, in addition to the plausibility of such high degree of thermal relaxation rate.

キーワード: Deep crustal UHT granulites, Anomalously high thermal relaxation rate, 2-D thermal model and crustal flow
Keywords: Deep crustal UHT granulites, Anomalously high thermal relaxation rate, 2-D thermal model and crustal flow

三波川変成岩の温度圧力履歴から推定されるプレート沈み込み条件 Subduction conditions estimated from the P-T paths for the Sambagawa metamorphic rocks

石井 和彦^{1*}

Kazuhiko Ishii^{1*}

¹ 大阪府立大学大学院理学系研究科

¹ Graduate School of Sciences, Osaka Prefecture University

低温高圧型の三波川変成岩から得られる温度圧力条件は、平均的な年齢の海洋地殻が長期間沈み込んだときに予想される定常的な温度構造と比較して、高い温度/圧力 (T/P) 比を示すことが以前から指摘されており、海嶺の沈み込みを含む若い海洋プレートの沈み込みに伴って形成されたと考えられている (Iwamori, 2000; Aoya et al., 2003; Okudaira & Yoshitaka, 2004)。本研究では2次元熱モデルを用いて、海洋プレートの沈み込みだけでなく、変成岩の上昇過程も含めて温度圧力履歴を計算し、三波川変成岩から得られている温度圧力履歴と比較した。その結果、エクロジヤイト相以下の三波川変成岩は、海嶺沈み込み直前の比較的短期間に沈み込みから上昇までが起こったと考えられ、さらに変成岩の上昇は定常的ではなく間欠的であった可能性が高い。一方、東赤石岩体の超高压含ザクロ石超苦鉄質岩から推定される温度圧力履歴 (Enami et al., 2004) を再現するためには、20 Ma より古い海洋プレートの高速 (10 cm/yr 以上) の沈み込みが必要であり、エクロジヤイト相以下の変成作用とは異なる時期に形成されたと推定される。これら時期の異なる2つの変成作用の関係や変成岩類の具体的な上昇機構についてはより詳しい検討が必要であり、それについても議論したい。

キーワード: プレート沈み込み, 三波川変成岩, 温度圧力履歴, 熱モデル

Keywords: plate subduction, Sambagawa metamorphic rocks, P-T path, thermal modeling

三波川帯東赤石超マフィック岩体のアンティゴライト蛇紋岩化の反応と構造形成 Reaction and structural development of antigorite serpentinite in the Higashi-akaishi ultramafic body, Sambagawa belt

横山 寛紀¹, 水上 知行^{2*}

Hironori Yokoyama¹, Tomoyuki Mizukami^{2*}

¹ 金沢大学自然科学研究科地球環境学専攻, ² 金沢大学自然システム学系地球学コース

¹Depart. Earth and Environ. Studies, Grad. Sch. of Natural Sci., Kanazawa Univ., ²Earth Science Course, School of Natural System, College of Science and Engineering, Kanazawa Univ.

Serpentinization of mantle wedge is a key process controlling fluid flux across subduction boundaries. In order to model progressive serpentinization and its effect on subduction system, it is important to understand mechanism of the fluid-rock reactions in open system. For direct information on the kinetic reactions, we made field observations on antigorite (Atg) serpentinite in the Higashi-akaishi ultramafic body in the Sambagawa belt.

Schistosed Atg serpentinite develops at the lower half of the body. Modal proportions of Atg to olivine (Ol) show a bimodal distribution representing an interlayering between Ol-rich (5-20% Atg) and Atg-rich (30-60% Atg) layers. Such layering can be seen in scales of several mm to 20 meters. Each layer is generally distinctive but local gradual decrease of Atg proportion in a single unit indicates the direction of fluid transport from bottom to top. Veins and network structures of Atg connect these strongly foliated parallel layers with the hydrous mineral.

Brucite (Brc) and magnetite (Mag) are found in highly serpentinized layers. However, there is no concentration of Brc and Mag in the outcrops and strain shadows are filled by Atg or carbonate indicating extraction of Mg and Fe is minor during serpentinization. Mineral chemistry of Atg and Ol suggests re-distribution of Ni and Fe during serpentinization. These observations indicate that Atg formation is owing to an additional SiO₂ dissolved in aqueous fluids. Minor Brc and a small amount of Mag can be explained by a reaction involving SiO₂.

These observations indicate that discontinuous layers with high concentrations of Atg represent fluid pass ways supplying SiO₂ and H₂O required for serpentinization of peridotite. Syn-deformational serpentinization causes strong schistosity defined by parallel alignment of platy Atg. Such foliated layers probably enhanced channelized fluid flow and, as a result, formation of Atg. This positive feedback is considered as a major mechanism to increase the amount of Atg in the Ol-rich Higashi-akaishi body. It is also indicated that contributions of interconnecting channels were important for advancing of serpentinization front into the mantle wedge.

キーワード: 蛇紋岩化, 構造形成, 反応

Keywords: serpentinization, structural development, reaction

黒瀬川帯に分布する低圧高温型変成岩類のジルコン U-Pb 同位体年代 U-Pb zircon age of low-pressure/high-temperature metamorphic rocks from the Kurosegawa tectonic zone, South-west Japan.

吉本 紋^{1*}, 小山内 康人¹, 中野 伸彦¹, 足立 達朗¹, 米村 和紘¹, 石塚英男²

Aya Yoshimoto^{1*}, Yasuhito Osanai¹, Nobuhiko Nakano¹, Tatsuro Adachi¹, Kazuhiro Yonemura¹, Hideo Ishizuka²

¹九州大学比較社会文化, ²高知大学

¹Kyushu University, ²Kochi University

黒瀬川帯は、角閃岩～塩基性グラニュライト、低温高圧変成岩、花崗岩類、シルル紀?デボン紀の堆積岩類などの多様な構成岩類が蛇紋岩の基質中に産する蛇紋岩メランジ帯であり、これらの岩石は多様な年代を示すことが特徴である。黒瀬川帯を構成する変成岩類の変成年代としては、角閃岩の Sm-Nd 鉱物アイソクロン年代として 540 Ma (小山内ほか, 2000)、ヒスイ輝石-藍閃石岩の白雲母 K-Ar 年代として 240-208 Ma (Maruyama et al., 1978)、および弱変成泥質岩の白雲母 K-Ar 年代として 186-229 Ma (磯崎・板谷, 1990) などが報告されている。黒瀬川帯に産する青色片岩からは、 270 ± 5 Ma の Rb-Sr 全岩アイソクロン年代が得られている (吉本ほか, 2012)。黒瀬川帯の碎屑性ジルコン年代は、九州・五木地域の泥質片岩、四国・阿南地域の珪岩、および紀伊半島・鳥羽地域の泥質片岩から、400-3300 Ma の幅広い年代分布を示すこと、450-500 Ma と 600 Ma に顕著なピークを示すこと共通の特徴として認められる (吉本ほか, 2012)。これらの年代分布は、南中国地塊起源と考えられている Ogcheon metamorphic belt から報告されている碎屑性ジルコンの年代分布 (Cho et al., 2012) と類似している。このことから、黒瀬川帯に産する泥質片岩や珪岩などの変成岩類は、北中国地塊と南中国地塊の衝突以前の沈み込みに伴い形成されたことが示唆される。

ところで、上述の低温高圧型変成岩類と同様に蛇紋岩中のブロックとして産するグラニュライトなどの低圧高温型変成岩類については、小山内ほか (2000) により変成年代として 490 Ma の Sm-Nd 鉱物アイソクロン年代が報告されている。これらのことを背景に、本発表では、黒瀬川帯に産する低圧高温型変成岩類について新たに測定したジルコン U-Pb 同位体年代を報告し、黒瀬川帯に分布する変成岩類の年代学的特徴を検討する。

これまで、九州・坪木ノ鼻地域のグラニュライトおよび走水地域の角閃岩から得られたジルコンの年代測定を行った。その結果、坪木ノ鼻地域のザクロ石?単斜輝石グラニュライトから、 447 ± 3 Ma のジルコン U-Pb 年代が得られた。測定を行ったジルコンは波動累帯構造を示さず、Th/U が低い特徴があるが、コンコーディア年代が集中することから、原岩形成年代を示すと考える。また、走水地域の角閃岩からは、 449 ± 4 Ma のジルコン U-Pb 年代が得られた。測定を行ったジルコンは、顕著な波動累帯構造を呈することはないが、Th/U が高いことから、原岩形成年代を示すと考えられる。このことから、両地域の原岩は同時期に形成されたと考えられる。また、四国・円行寺地域の藍閃石岩からは、波動累帯構造が顕著に認められ、Th/U の高いジルコンから、原岩形成年代と考えられる 493 ± 5 Ma の U-Pb 年代が得られた。これらのことから、黒瀬川帯では広域的にカンブリア紀からシルル紀の原岩形成年代の特徴が明らかになった。現在他地域の分析も進めており、今後はより広域的な年代学的特徴を示すことが可能となる。

キーワード: 黒瀬川帯, U-Pb ジルコン年代

Keywords: Kurosegawa Tectonic Zone, U-Pb zrn age

埼玉県寄居 小川地域の木呂子緑色岩メランジュ

The Kiroko greenstone melange of the Atokura Nappe in the Yorii-Ogawa district, central Japan

小野 晃^{1*}

Akira Ono^{1*}

¹ なし

¹ None

関東山地北東縁部の寄居 - 小川地域には跡倉ナップが存在し、その南縁部に緑色岩メランジュ [1] あるいは木呂子緑色岩メランジュ [2] が分布している。この地質体は木呂子変成岩 [2] と蛇紋岩および種々の構造岩塊 [1 ~ 8] から構成されている。構造岩塊は蛇紋岩と木呂子変成岩が地殻浅部に上昇する過程で捕獲されたものと考えられる [3]。木呂子変成岩について、苦鉄質変成岩 (Kiroko-M, 添付図参照) の K-Ar 全岩年代は 57.4Ma である [8]。構造岩塊について、東秩父村居用の黒雲母 ザクロ石 白雲母片岩 (Iyo-mus) の K-Ar 白雲母年代は 109Ma である。

新しい地質データ

(A) 木呂子緑色岩メランジュの蛇紋岩と跡倉層の泥岩との間の断層 (N70W 90) が木呂子川上流に見出された。

(B) 年代測定された緑色岩 (Kiroko-M) は不均質であり、泥質レンズ、灰緑色レンズ、珪質レンズなどがかなり挟まっている (添付図参照)。レンズ状部分の長さは 1 ~ 3 cm ほどで厚さは 5 mm 以下である。放散虫化石が普通に存在し、特に珪質部分に多い。泥質レンズ部分は微細なアクチノ角閃石、緑泥石、白雲母、石英、炭質物などからなる。この微小な白雲母は測定された K-Ar 年代値に大きい影響を与えていると考えられる。

新しい年代データ

木呂子緑色岩メランジュの泥質変成岩はスレートあるいは泥岩と記述されている [4 , 7]。それらの代表的露頭は地質図の b, c, d, e 地点に見られる。スレートの再結晶作用はかなり顕著で、白雲母の定向配列は多くの場合明瞭である。白雲母の大きさは岩石による相違が大きく、微細な場合も相当大きい場合もある。同一の薄片に関しても、白雲母の大きさはかなり不均一で、大小 2 種類の白雲母が普通に認められる。大きい白雲母粒子は碎屑粒子と推定される。

今回、地点 b と c の泥質変成岩について K-Ar 全岩年代の測定を行った (添付図の Kiroko-P と Suguro-P)。測定結果は $117 \pm 2.9\text{Ma}$ および $126 \pm 3.0\text{Ma}$ であった。測定された岩石に碎屑性白雲母がかなり多い事実を考慮すると、K-Ar 年代値は変成鉱物の冷却年代よりも相当古いと考えられる。

木呂子変成岩の上昇場

蛇紋岩や木呂子変成岩が 60Ma 頃に地殻浅部に上昇した所には、白亜紀中期に高い地温勾配の下で形成された変成岩や花崗岩が存在していた。これらの変成岩や花崗岩はその形成後に海洋プレート (海溝) の方へ大きく移動して、60Ma 頃には高圧型変成岩の上昇場に位置していたと推定される [3]。西南日本の前弧域における類似の短縮テクトニクスは 60Ma 以降にも断続的に起きたと考えられる。その代表が跡倉ナップや領家ナップの形成である。

[1] 平島 (1984) 地質雑, 90, p.629 .

[2] 小野 (2010) 日本地質学会第 117 年学術大会, p. 256 .

[3] 小野 (2011) 日本地質学会第 118 年学術大会, p. 196 .

[4] 牧本・竹内 (1992) 寄居地域の地質, 地域地質研究報告, 地質調査所 .

[5] 竹内・牧本 (1995) 地調月報, 46, 419 .

[6] 小川町史編纂委員会 (1999) 小川町の自然 地質編 .

[7] 坂ほか (2005) 早大教育学部学術研究 - 生物学・地球科学編 - , no.53, 1-26 .

[8] 小野 (2007) 日本地質学会第 114 年学術大会, p. 299 .

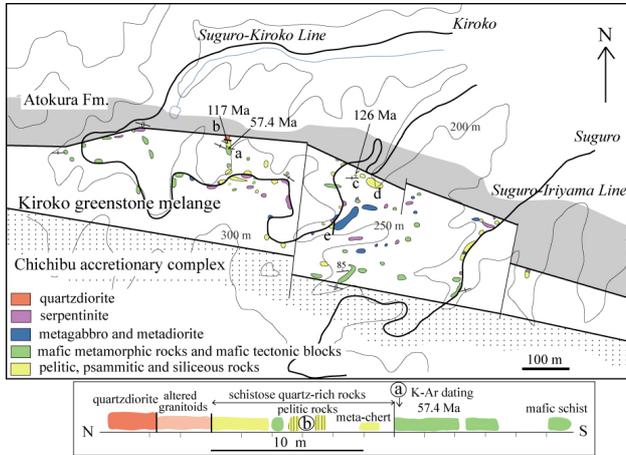
キーワード: 緑色岩メランジュ, 跡倉ナップ, スレート, 放射年代, 碎屑性白雲母

Keywords: greenstone melange, Atokura Nappe, slate, K-Ar dating, detrital white mica

SMP43-P16

会場:コンベンションホール

時間:5月24日 16:15-17:30



Sample	Age (Ma)	⁴⁰ Ar rad (scc/g × 10 ⁻⁵)	⁴⁰ Ar rad (%)	K (%)
(a) Kiroko-M	57.4 ± 1.4	0.047 0.046	83.5 75.7	0.21 0.20
(b) Kiroko-P	117 ± 2.9	1.60 1.64	96.6 96.7	3.45 3.45
(c) Suguro-P	126 ± 3.0	0.963 0.973	94.2 93.7	1.91 1.92
(x) Iyō-mus	109 ± 2.7	3.04 3.01	95.1 94.1	6.94 6.92

M: mafic schist, P: pelitic rock, mus: muscovite

$\lambda_{\beta} = 4.962 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$, $\lambda_{\epsilon} = 0.581 \times 10^{-10} \text{ yr}^{-1}$
 $^{40}\text{K}/\text{K} = 0.01167 \text{ atom\%}$ Geospace Science CO.,LTD.



東南極セールロンダーネ山地に分布する変成岩類のジルコン LA-ICP-MS U-Pb 年代 Zircon LA-ICP-MS U-Pb dating of metamorphic rocks from Sor Rondane Mountains, East Antarctica.

北野 一平^{1*}, 小山内 康人¹, 足立 達朗¹, 中野 伸彦¹

Ippei Kitano^{1*}, Yasuhito Osanai¹, Tatsuro Adachi¹, Nobuhiko Nakano¹

¹九州大学比較社会文化

¹Kyushu University

東南極セールロンダーネ山地は東・西 Gondwana 大陸の衝突域に位置していたと考えられている (e.g., Jacobs and Thomas, 2004; Meert, 2003). 本地域は、緑色片岩相からグラニュライト相の変成岩類とこれらに貫入した深成岩類から構成される。変成経路および構成岩石の種類から、北東岩体と南西岩体に区分されている (Osanai et al., 1992). 北東岩体は、角閃岩相の A 帯とグラニュライト相の B 帯に区分される。本岩体では、1130?890 Ma および 800?790 Ma の火成年代と 640?600 Ma のグラニュライト相の変成年代および後退変成作用の可能性の指摘される 580?520 Ma の角閃岩相の変成年代が報告されている (e.g., Osanai et al., in press). 一方、南西岩体は、グラニュライト相の C 帯と緑色片岩相から角閃岩相の D 帯及び変トータル岩からなる D' 帯に区分される。本岩体では、1190-950 Ma の火成および変成年代、770-750 Ma の火成年代 (Nakano et al., 2012), 700 Ma の変成年代 (Hokada et al., 2013), 640-600 Ma のグラニュライト相の変成年代および 580-520 Ma の角閃岩相の変成年代が報告されている。 (e.g., Osanai et al., in press).

本地域での年代測定は各帯で行なわれているものの、主に中央部や東部の試料が分析されている。そこで本研究では、より広域的かつ詳細なセールロンダーネ山地の形成過程を明らかにするために、A 帯の 2 試料、B 帯の 12 試料、C 帯の 5 試料および D 帯の 6 試料について、広範囲に zircon LA-ICP-MS U-Pb dating を行った。

A 帯では、泥質変成岩から (Grt-Bt gneiss) 碎屑性ジルコン年代として 1070-780 Ma が、変成年代として 640-630 Ma が得られた。珪長質変成岩および中性の変成岩 (Hbl-Bt gneiss) から 1180-1030 Ma の火成作用に関連する年代が得られた。

B 帯では、泥質変成岩 (主に Grt-Bt gneiss および Opx-Bt gneiss) から碎屑性ジルコン年代として 2900, 2320, 2160-1870, 1330-900 および 840-670 Ma が認められ、変成年代として 660-610 Ma が得られた。また、珪長質変成岩 (Bt gneiss) から火成作用に関連する年代として 1050-840 Ma が、変成年代として 670-570 Ma が得られた。

C 帯では、珪長質変成岩および中性の変成岩 (Hbl-Bt gneiss および Bt gneiss) から火成作用に関連する年代として 1000-920 および 860-790 Ma が認められ、変成年代として 730-710 および 570 Ma が得られた。苦鉄質変成岩および石灰珪質変成岩 (Hbl-Cpx rock および Grt-bg, Bt amphibolite) から原岩形成年代として 810-760 Ma が、変成年代として 640 および 610-570 Ma が得られた。

D 帯では、泥質変成岩 (Grt-Bt gneiss および Ep-Chl-Ms schist) から碎屑性ジルコン年代として 1120-930 Ma が、珪長質変成岩および中性の変成岩 (St-bg, Grt-Bt gneiss および Bt-Hbl gneiss) から火成作用に関連する年代として 1150, 1050-1010 および 950-800 Ma が認められ、変成年代として 720 Ma が認められた。石灰珪質変成岩 (Bt-Ep-Hbl rock) のジルコンから 980-780 が得られた。

北東岩体と南西岩体を比較すると、泥質変成岩では、B 帯で特徴的に 1800 Ma より古い碎屑性ジルコン年代がえられた。このことは、北東岩体と南西岩体で後背地が異なる可能性を示唆する。一方、珪長質変成岩、中性の変成岩および苦鉄質変成岩が同様の火成作用の年代を示す共通の特徴が認められる。今後、C 帯および D 帯で泥質変成岩および石灰珪長質変成岩の年代測定を進め、本発表では各帯の岩相を網羅し議論を行う予定である。

マダガスカル中央東部に産する変成堆積岩のEPMA モナザイト年代 Electron microprobe age dating of monazite from the meta-sedimentary rocks, central-eastern Madagascar

市来 孝志^{1*}, 石川 正弘¹, 小山内 康人², 中野 伸彦², 足立 達朗²

Takashi Ichiki^{1*}, ISHIKAWA, Masahiro¹, OSANAI, Yasuhito², NAKANO, Nobuhiko², ADACHI, Tatsuro²

¹ 横浜国立大学・環境情報, ² 九州大学・比較社会文化

¹Yokohama National University, ²Kyushu University

Madagascar is situated within the interior of the Neoproterozoic East African Orogen (EAO; Stern, 1994) that marks the join between East and West Gondwana. The Betsimisaraka Unit exposed on the eastern margin of EAO experienced Neoproterozoic-Early Paleozoic metamorphism and deformation. Monazites from biotite gneiss in the Betsimisaraka Unit, sillimanite-biotite gneiss and kyanite-biotite-muscovite schist, and garnet-sillimanite gneiss in the Antananarivo Block were dated by the field emission Electron microprobe. The ages and zoning characteristics varied between the samples, but the U-Th-Pb monazite data confirm that at least Early Paleozoic (Cambrian) metamorphic events are recorded in the area.

Monazites from the Betsimisaraka Unit are subhedral to anhedral, and occur both as inclusions within biotite porphyroblasts and the matrix. Analyzed grains gave ages from 400 to 610 Ma with the 500 Ma age being dominant. Compositional zoning in monazites from samples in the Masora Block demonstrates complex growth relationships. Monazites are subhedral to anhedral, and yield two distinct ages. The cores of monazite grains give ages of ca. 930 Ma whereas the rims of grains generally give ages of ca. 500 Ma. A second sample from the Masora Block contained subhedral to anhedral monazite grains both within biotite and matrix minerals. Analyzed grains gave ages ranging from 450 to 550 Ma with the 510 Ma age being dominant. Discontinuous zoning in monazites from sample in the Antananarivo Block demonstrates complex growth relationships. Monazites are anhedral and yield two distinct ages. The cores of monazite grains give age of ca. 2500 Ma whereas the rims of grains generally give ages of ca. 490 Ma.

The occurrence of monazites suggests that Cambrian-Ordovician history is preserved within metamorphosed equivalents in the central-eastern Madagascar. The monazite data support the previous monazite ages in central-southern Madagascar reported by Giese et al. (2011) and requires re-evaluation of tectonic model of Gondwana formation along the eastern margin of EAO.

キーワード: ゴンドワナ超大陸, マダガスカル中央東部, EPMA モナズ石年代, 変成堆積岩

Keywords: Gondwana, central-eastern Madagascar, EPMA monazite dating, meta-sedimentary rocks

チェコボヘミア産ざくろ石かんらん岩中の Isochemical kelyphite の特徴 Some characteristics of isochemical kelyphite in garnet peridotites, Czech Bohemia

小畑 正明^{1*}, 小澤一仁², 苗村康輔², 三宅 亮¹
Masaaki Obata^{1*}, Kazuhito Ozawa², Kosuke Naemura², Akira Miyake¹

¹ 京都大学大学院理学研究科, ² 東京大学大学院理学研究科
¹Kyoto University, School of Science, ²The Univ. Tokyo, School of Sciences

isochemical kelyphite, すなわちざくろ石がバルクでその組成を保持したままケリファイト化したサンプルはこれまでアルカリ玄武岩やネフェリナイト中のゼノリス中には数例知られていた。それらはすべてかんらん石を含まないざくろ石輝岩やグラニュライトであった。我々はチェコ Moldanube 帯のかんらん岩中に isochemical kelyphite を見だしこれを報告した (Obata et al, 2013 Mineralogy and Petrology, 2013)。本ポスターではその岩石学的特徴を詳しく紹介しその意義を論じる。チェコのケリファイトサンプルの特徴は, isochemical kelyphite (kelyphite II と称する: 鉱物共生は $Opx+Sp+Pl$) が従来型のケリファイト, すなわちざくろ石とかんらん石の反応により生じたケリファイト (kelyphite I と称する; 鉱物共生は $Opx+Cpx+Sp \pm Amphibole$) に囲まれて産することで, この組織関係から kelyphite I II の順で形成したことが知れる。すなわち, kelyphite I は $Ol+Grt = Opx + Cpx + Sp$ の反応で生じ, kelyphite II は前の反応の残存ざくろ石がそれ単独で低圧鉱物の集合体 ($Opx+Pl+Sp$) に分解したものである。前者は開放系の反応であるのに対して, 後者は閉鎖系の反応である。kelyphite II の顕著な特徴は (1) その形態の「非対称性」である。すなわち, ざくろ石が残存している場合は, kelyphite II はざくろ石を完全に取り囲んで発達するのではなく, 一方向に偏って発達している。(2) 次に kelyphite I と Kelyphite II の間に鉱物学的, 組織的漸移ゼン帯 (transition zone) が存在し, ゼン帯はさらに二つの鉱物帯 (外側は $Opx+Amp+Sp$; 内側は $Opx+Amp+Sp+Plag$) に分けることが出来る。(3) kelyphite II はざくろ石は直に接するわけではなくその境界に幅数 10 ミクロン~100 ミクロンくらいの薄いシンプレクタイトのゾーン ($Amp+Sp+Pl$: kelyphite III と称する) で隔てられる。(4) kelyphite I では Opx と Sp の結晶方位は無関係であるが, kelyphite II の中間部では, Sp の $\{111\}$ の一つが Opx の (100) に一致し, Sp の $\{110\}$ の一つが Opx の (010) に一致するという topotaxy の関係が認められる (EBSD による分析結果)。これらの諸特徴は, これまで報告されたどの isochemical kelyphite でも見いだされていない新しいもので, kelyphite I 形成反応から kelyphite II 形成反応への移り変わりを記録するものとして重要なものであると考えられる。今後の調査でこのような isochemical kelyphite の事例は他の造山性かんらん岩でも見いだされることが期待される。スペインの Ronda かんらん岩からの例も合わせて報告する。

キーワード: ケリファイト, シンプレクタイト, ざくろ石かんらん岩, チェコ, ボヘミア
Keywords: kelyphite, symplectite, garnet peridotite, Czech, Bohemia

滑石流動層テクトニクス - 新しい地球の概念 - Talc flow layer tectonics : a new concept of globe

飯田 義正^{1*}Yoshimasa Iida^{1*}¹ なし¹ non

プレート・テクトニクスの体系を構成する学説のうち確実なのは、大陸移動説、海底拡大説、深発地震面だけであり、その他の説、すなわち、マントル対流説、ホット・スポット説、プリューム説、沈み込み帯でのマグマの発生、マントル・ダイアピル、などの実在については議論の余地があると考えられる。本研究では、既存の概念とは異なる新たな概念の提案を試みる。

P波の低速度域を部分溶融として解釈するのは理解できない。マントルは、過去には現在より温度が高かったと考えられるが、現在もかなり溶融しているとすると、過去にはマントルの大部分が溶融していたことになるが、非現実的である。

中央海嶺の火成活動とキンバーライトを除く全ての火成活動は、ホット・スポット、プリュームおよび沈み込み帯でのマグマ発生として、これまで説明されてきたが、すでに提案したカルデラ・チェーン(飯田、2011b)でも説明が可能である。その場合、ほとんど全てのマグマは、地殻中またはマントル最上部で発生すると考えられ、上部マントルの温度は従来の推定より数百度低いと思われる。

この考えが正しければ、かなり深部まで滑石が安定であると考えられる。滑石は層状珪酸塩としては比較的高温まで安定で、高压でも安定である。滑石は層電荷がゼロであるため滑動しやすく、最も硬度の低い鉱物である。

全プレートの下に滑石を含む流動層(TFL)があり、プレートの移動とアイソスタシーの原因となっていると推定する。

北米大陸の氷床はハドソン湾を中心とし、その周辺の五大湖からウィニペグ湖、アサバスカ湖、グレート・スレイブ湖、グレート・ベア湖に至るゾーンは、氷期には流動体が中心部から移動して隆起帯となり、氷床融解後は逆に沈降帯となったと考えられる。このような、逆センスの動きをする周辺帯は、流動層が比較的薄いことを示していると考えられ、これがTFLであると推定する。

海洋プレートは沈み込む前にすでにかなり蛇紋石化していると考えられる。沈み込み帯で蛇紋石の脱水により海洋プレート自身とこれに接するマントルが変成されTFLが形成される。このTFLはプレートの下面に沿って上方に移動する。二重地震面の下の方はプレートとその下のTFLの境界を成すと推定される。このような変成作用と双方向の物質移動が、高速の沈み込みを実現していると思われる。プレートという硬い岩盤が折れ曲がり、再び真直ぐになって沈み込むのは非常に不自然だが、実際には多くの割れ目があり、かなりの部分が蛇紋岩化していることと、流動的な滑石層に挟まれることで巨視的には可塑的に変形できると思われる。

このTFLの上方への移動に伴う減圧で、マグマが発生する可能性がある。これが噴出したものがアウターライズのプチスポット(Machida et al., 2005; AGU V51A-1463)かもしれない。

海洋プレートの下TFLは中央海嶺に向かって流動し、そこで生産される新たなプレートの原料となる。沈み込み帯の海洋プレートは、上下と先端を滑石層に包まれた形で、密度差により沈降し、全体の運動の動力源となる。中央海嶺は受動的な張力場であり、減圧によるマグマの発生と固結により、海洋プレートが形成され、海洋底が拡大する。海洋プレートは、マントル対流ではなく、このようなTFLの流動によって作られる。

中央海嶺は展張方向に対して直角に連なる。カルデラ・チェーン(CC)によって大陸が切断されるので、その形状は直線的ではない。境界が曲線的であれば、その形に合わせるために、中央海嶺がトランスフォーム断層によって変位される。

なお、パンゲアを分裂させ大西洋を作ったCCは、約6億年かけて南から北に移動して大陸を切り裂いたもので、現在その先端は北極海のガッセル海嶺東端に在る。

沈み込み帯に接する大陸地殻では、海溝に平行に地質が帯状分布する傾向がある。カルデラは厚くて硬い地殻より、薄く軟らかい地殻に形成されやすい。このため、CCは海溝に平行に進行する傾向がある。TFLをマグマ発生のもととする大規模なCCが大陸縁辺部で海溝に平行に形成されると、これが切断線となり、周囲のTFLがそこに流動して海洋地殻を形成し始め、大陸本体から縁辺部が分離する。これによって弧状列島と縁海が形成される。新たに形成された縁海の地殻は薄いので、CCは選択的に縁海の中を動き回ることによって、縁海が拡大する。また、この縁海へのTFLの動きに伴い、弧状列島の下TFLが薄くなるので沈降する。日本海拡大時の中期中新世に本州で起った海進は、これが原因であると思われる。

以上のように、TFLとCCはそれぞれ独立したテクトニクスであり、この2つがグローバル・テクトニクスを支配していると考えられる。マントル対流、プレート・テクトニクス、マントル・ダイアピル、ホット・スポット、プリューム、など既存の概念とは異なる新しい概念として提案する。

キーワード: 大陸移動, 海底拡大, カルデラ・チェーン, 弧状列島, 縁海
Keywords: continental drift, caldera chain, island arch, marginal sea

