

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 8 日現在

機関番号：12401  
 研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2009～2011  
 課題番号：21540468  
 研究課題名（和文）ジルコンから読み取る沈み込み帯深部の脱水および融解過程

研究課題名（英文）Dehydration and melting process in deep subduction zone  
 -Zircon geochemistry from the Sanbagawa eclogite-

研究代表者

岡本 和明（OKAMOTO KAZUAKI）  
 埼玉大学・教育学部・准教授  
 研究者番号：60456001

研究成果の概要（和文）：上部マントルまで沈み込んだ海洋地殻物質である三波川エクロジャイトから部分融解組織を発見した。部分融解組織中に含まれるジルコンを分離し、形態、包有鉱物、成長組織を解析した。さらに成長組織と部分融解の時間的関係を明らかにするため U-Pb 局所年代測定を行った。その結果、若い（暖かい）海洋プレートが沈み込む場合、海洋地殻は上部マントルに達すると雲母の分解に伴う部分融解を起こすことが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Partial melting texture was discovered from the Sanbagawa eclogite which had been subducted down to upper mantle at Cretaceous time. Zircons were separated from the eclogite. The zircons exhibit sector zoning on the core to mantle under the CL images. SHRIMP U-Pb age dating and REE analysis from the zircons indicate that the partial melting had occurred in the case of young (hot) slab at upper mantle depth. The melting reaction was due to phengite decomposition. The zircon and the garnet were grown together in the presence of melt.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2010 年度	600,000	180,000	780,000
2011 年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：地球惑星科学・地質学

キーワード：地質学、地殻・マントル物質、沈み込み帯深部、部分融解、ジルコン、低温高圧型変成岩、エクロジャイト、サブダクションファクトリー

1. 研究開始当初の背景

沈み込み帯深部の脱水および融解過程は、深発地震、島弧マグマの成因に深く関わっている（e.g. Maruyama and Okamoto, 2007）。三波川エクロジャイトは、マントルまで沈み込んだ海洋プレートの断片と考えられており、沈み込み帯深部での変成、変形過程を解析す

るのに最適である（e.g. Okamoto et al., 2000a）。しかし三波川エクロジャイトは著しい加水後退変成作用を受けており、野外露頭、岩石薄片から得られる情報は限られている（e.g. Ota et al., 2004）。ガーネット中の包有鉱物（以下インクルージョン）がこれまで有効と考えられてきたが、反射電子像下ではガーネットに多くのクラックが成長し

ており、クラックに沿って流体が侵入しインクルージョンと反応した証拠がしばしば認められる (e.g. Okamoto et al., 2000b)。ジルコン中には、超高压鉱物がインクルージョンとして保存されている。ジルコンは超高压変成岩中でダイヤモンドについて硬い鉱物であり、分解されにくい。そのため、ジルコンインクルージョンの解析により変成履歴の解析が飛躍的に進んだ (Katayama et al., 2000)。そこで申請者はジルコンの予察的解析を行う一方で、源岩岩層単位の詳細な地質図を作成し、後退変成作用の程度が低い地域の特定を行った (Terabayashi et al., 2005)。その結果、堆積岩起源や花崗岩起源のエクロジャイトには細粒なジルコンが存在することが明らかになった (Okamoto et al., 2004)。これらのジルコンは、イオンプローブでのU-Pb年代測定は可能であったが、細粒であったため十分なインクルージョン解析が出来なかった。2008年6月、申請者は、部分融解組織が認められるエクロジャイト露頭を新たに発見した。これまで部分融解組織の確認できる露頭は報告されていたが、後退変成作用の影響や風化の為、岩石学的な解析例は無い。今回発見された岩石試料は、部分融解過程の解析が可能であるのみならず、部分融解に伴う粗粒なジルコンが期待できる。また、これまで後退変成作用の著しい岩石試料からのジルコン分離は試みられていないが、実はこれらの岩石試料はジルコン分離に適していることが申請者の研究で明らかになった。

## 2. 研究の目的

海洋プレートは、海水を含水鉱物に固定して、沈み込み帯深部に輸送する。古い(冷たい)海洋プレートが沈み込む場合、上部マントル深度でも少量の水が「脱水分解反応」により、流体・メルトとして放出される。脱水流体・メルトは、水圧破碎によりスラブ地震を引き起す可能性を持っている。また、上部マントルウェッジの部分融解を引き起こし、島弧マグマを生成する。このため、脱水流体・メルトの化学組成、物理特性(粘性、密度等)を明らかにすることは大変重要である。流体とメルトの組成不混和領域が無くなる「第2臨界終端点」が上部マントル深度で存在する事が超高压実験から指摘されている。しかし実験グループごとに「第2臨界終端点」の出現圧力の相違がみられる。そこで申請者は、天然のエクロジャイトを用いて流体・メルトの特定を開始した。これまでに6 GPaの圧力条件で変成作用を受けたカザフ超高压エクロジャイトからジルコンを分離し、含水鉱物であるフェンジャイトの分解に伴うメルトの存在を明らかにした (Okamoto et al., 2006)。さらに4 GPaの変成圧力条件の中

国超高压エクロジャイト(深層掘削試料)からも同様な結果が得られた。つまり火山フロント直下(110 km)以深に沈み込んだプレートからは脱水反応によりメルトが放出されていると考えられる。三波川エクロジャイトは火山フロントの手前(70-80 km)の深さ(1.5-2.5 GPa)まで沈み込んでいる。源岩構成の特徴(火山性堆積岩、大理石)から海台の沈み込み、付加が考えられている。部分融解が最高変成圧力条件に起きたのであれば、火山フロントの直前で粘性の高いメルトがスラブから放出されていることになる。また、メルトの形成時期と三波川エクロジャイトが海洋プレートから、マントルウェッジ側へはぎとられる底付け(付加)過程の関係も大変重要な検討課題である。申請者らの詳細な地質調査により、三波川エクロジャイトのうち最大の岩体である五良津岩体は、付加断層により境されるデュープレックス構造を呈していることが明らかになった。メルトが沈み込み帯深部でエクロジャイト岩体の変形作用にどのような役割を果たしていたかが明らかにすることも本研究の重要課題である。

## 3. 研究の方法

野外地質調査及び岩石採取 申請者らは、すでに2000年より、四国中央部別子山において、源岩岩層単位に基づく詳細な地質図を作成しており、付加体構造の復元 (Terabayashi et al., 2005)、変形構造解析に基づく上昇テクトニクス (Yamamoto et al. 2004) を公表している。これらの研究成果を最大限利用する野外調査なので、効率よく様々な源岩のエクロジャイトを系統的に採取できる。本研究では、部分融解組織の分布を調べた。

### ジルコン分離

メルトおよびフルイドインクルージョン解析のためには、大量のジルコン観察が必要である。申請者は1岩石試料から1000個のジルコンを分離し、エポキシ樹脂にマウント、観察して経験がある (Okamoto et al., 2006)。本申請研究でも、採取された岩石を含めた試料からのジルコンの大量分離を行った。

## インクルージョン解析

直径1 cm弱のエポキシ樹脂に数百個マウントされたジルコンを解析するには、SEM-EDS、カソードルミネッセンス像による解析が不可欠である。これらの分析は埼玉大学および連携研究者の所属する東工大地球惑星科学科で行った。インクルージョンの迅速同定は、研究総括者である岡本が低真空SEM-EDS 分析を埼玉大学で行った。そして分担研究者の所属する香川大学工学部で分担者の寺林がレーザー顕微ラマンでの自動面分析、手動点分析を行った。インクルージョンの化学組成分析は、東工大においてE PMA, ジルコンの希土類元素濃度分析およびジルコンU-Pb 年代測定は、韓国基礎研究所に設置されているSHRIMPを用いた。

## 4. 研究成果

本研究対象である三波川エクログャイトのうち最も大きく詳細な研究が行われているのはいらつエクログャイト岩体である。いらつエクログャイト岩体は、岩体のほぼ全域がざくろ石角閃岩相の変成条件の後退作用に伴う加水作用を受けており、角閃石やエピドート、ガーネットが斜長石とともに成長している。石英エクログャイトは後退変成作用をほとんど受けておらず、野外ではオンファス輝石とガーネットが顕著に認められる。石英エクログャイトで観察される部分融解組織は、石英長石脈に粗粒なガーネットが含まれており、角閃石、エピドートはほとんど認められない。後退変成作用を伴う変成脈とは異なる。

岩石薄片の顕微鏡観察では、石英エクログャイトは、オンファス輝石、ガーネット、石英に加え、フェンジャイト、ルチル、ジルコンが認められる。一方、部分融解組織中の鉱物組み合わせは、石英、斜長石、カリ長石、

ガーネットである。オンファス輝石、ルチル、フェンジャイトはガーネットの核部（コア）に認められる。エクログャイト中のガーネットのコアは包有鉱物がなく、マントルおよびリムにフェンジャイト、オンファス輝石、ルチルが認められる。また、部分融解組織中のガーネットは著しい脆性破壊を受けて割れていることが多い。これらの特徴は、部分融解が上部マントル深度からの上昇過程で起きていることを示唆する。上述のようにガーネットの包有鉱物と組織を結び付ける解析は、変成過程（P-T-t 履歴）の解明に有効である。しかしガーネットにはミクロン-サブミクロンスケールでクラックがしばしば認められており、包有鉱物の中にはクラック形成時に侵入した流体からの沈殿や改変もしばしば認められる。

ジルコンは岩石中では、ダイヤモンドにつぐ固い鉱物であり、広範囲の温度圧力条件下で安定であるし、組織とREE濃度変化、年代変化を変成過程と組み合わせて詳細に議論できる。そこで石英エクログャイトと部分融解組織からそれぞれジルコンを分離した。エクログャイト中のジルコンは楕円形-長柱状で、平均粒径200ミクロンであるが、部分融解組織中のジルコンは円形で100ミクロンである。CL像の観察では、ジルコンはコア、マントルを持っている。部分融解組織中のジルコンは砂時計構造やセクターズリングが顕著であり、リムも認められる。韓国基礎研究所でのSHRIMP年代測定により、エクログャイト中のジルコンは、コア、マントルとも120Maであり、部分融解中のジルコンはコアが120Maで、リムが105Maであることが明らかになった（Arakawa et al. in press）。岩石薄片、ジルコンのREE濃度変化から推定される部分融解反応は、オンファス輝石+フェンジャイト=メルト+ガーネ

ットである。この反応は、エクロジャイトの  
 変成温度圧力条件 (2GPa, 600°C) 付近での  
 より高压条件の実験結果による分解反応と  
 一致するが、これまで中央海嶺玄武岩+水の  
 系で求められてきたソリダスより 100 度近く  
 低温である。上記の分解反応は、石英=コー  
 ス石相境界を横切るため、熱力学的には、部  
 分融解反応が石英側でより低温へ P-T 勾配を  
 変化させるのは妥当である。また、流体とメ  
 ルトの相境界が消滅する第二終端点が 1  
 GPa である (Mibe et al., 2011) ことを考え  
 ると、上記のフェンジャイトの分解反応でメ  
 ルトが生成されることも妥当である。

以上のように、三波川エクロジャイトで発  
 見された部分融解の証拠は、若い海洋地殻の  
 沈み込みでフェンジャイトの分解によりメ  
 ルトが上部マントルで生成されることを示  
 す。メルトがエクロジャイト中に存在する場  
 合、岩石変形機構の変化や流体移動が流体の  
 存在する場合とどう変わるのかを今後高压  
 実験で検証していく必要がある。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者に  
 は下線)

[雑誌論文] (計 6 件)

1. Utunomiya, A., Jhan, B., Okamoto, K., Ota, T., and Shinjoe, H., Intra-oceanic island arc origin for Iratsu eclogites of the Sanbagawa belt, central Shikoku, southwest Japan, *Chemical Geology*, 査読有, 280, 2011, 97-114.
2. Terabayashi, M., Okamoto, K., Yamamoto, H., and Chan Y. C., Thematic section: Fluid-rock interaction in the bottom of the inland seismogenic zone. *Island Arc*, 査読有, 19, 2010, 1-3.
3. 岡本和明, 青木一勝, 丸山茂徳, 四国中央部三波川変成帯のテクトニクス, *地質学雑誌*, 査読有, 115 巻, 補遺, 2009, 37-49.
4. Terabayashi, M., Okamoto, K., Usuki, T., Lan, C.Y., Yui, T.F., Iizuka, Y., Vu, V.T., Tran, T.A., Okamoto, K., Wooden, J.L., Liou, J.G., Early Paleozoic medium-pressure metamorphism in central Vietnam: evidence from SHRIMP U-Pb

zircon ages. *Geosciences Journal*, 査読有, 13, 2009, 245-256.

5. Lan, C.Y., T. Usuki, K.L. Wang, T.F. Yui, K. Okamoto, Y.H. Lee, T. Hirata, Y. Kon, Y. Orihashi, J.G. Liou and C.S. Lee, Detrital zircon evidence for the antiquity of Taiwan. *Geosciences Journal*, 査読有, 13, 2009, 233-243
6. Yui, T.F., Okamoto, K., Usuki, T., Lan, C.Y., Chu, H.T., Liou, J.G., Late Triassic-Late Cretaceous accretion/subduction in the Taiwan region along the eastern margin of South China –evidence from zircon SHRIMP dating, *International Geology Review*, 査読有, 51, 2009, 304-328.

[学会発表] (計 5 件)

1. Arakawa, M. and Okamoto, K., Zircons from the Quartz bearing Sanbagawa Eclogite –Inclusion Mineralogy and Geochemistry, 355p. AOGS 2011 (Asia Oceania Geosciences Society), Taipei, 2011 年 8 月 11 日
2. 荒川幸, 岡本和明, 堤之恭, 寺林優, ジルコンから読み取る沈み込み帯深部の部分融解過程 –三波川エクロジャイトを用いて–地球惑星連合大会, 2011 年 5 月 26 日、幕張
3. Okamoto, K., and Arakawa Miyuki Partial melting of deeply subducted metasediment –discovery of the melting textures from the quartz bearing eclogite in the Sanbagawa belt–地球惑星連合大会, 2011 年 5 月 23 日、幕張
4. Okamoto, K., Utsunomiya, A., Partial melting of deeply subducted metasediment –discovery of the melting textures from the quartz bearing eclogite in the Sanbagawa belt, Japan-, Western Pacific Geophysical Union 2010 年 6 月 22 日 “, Taipei, V21B-06
5. Okamoto, K., Jahn, B., Yui, T.F., Akasaka, M., Xu, Z., P, T conditions of the CCSD eclogites; Importance of ferric estimation based on Mössbauer and micro-XANES analysis-, 8<sup>th</sup> International Eclogite Conference, 2009 年 8 月 28 日, Xining, Qinghai, China, 113.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

名称 :  
 発明者 :  
 権利者 :

種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計0件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

岡本 和明 (OKAMOTO KAZUAKI)  
埼玉大学・教育学部・准教授  
研究者番号：60456001

### (2) 研究分担者

寺林 優 (TERABAYASHI MASARU)  
香川大学・工学部・教授  
研究者番号：40243745

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：