

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24340124

研究課題名(和文)三波川帯エクロジャイトの原岩・変成作用・上昇のテクトニクス

研究課題名(英文)Protolith, metamorphism and exhumation tectonics of the eclogites from the Sambagawa metamorphic belt, southwest Japan

研究代表者

高須 晃 (Takasu, Akira)

島根大学・総合理工学研究科(研究院)・教授

研究者番号：00183848

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,200,000円

研究成果の概要(和文)：三波川帯のエクロジャイトの変成作用は、高温型変成作用イベント、2回のエクロジャイト相変成作用イベント、そして藍閃石片岩相-緑れん石角閃岩相変成作用イベントの4回の変成イベントが認められる。これらの変成作用は120-90 Maの比較的短時間に、海洋プレートの沈み込みの開始(大陸側プレートによる接触変成作用)、沈み込みの継続(地温勾配の低下による低温エクロジャイト変成作用)海嶺の接近(地温勾配の上昇による高温エクロジャイト変成作用)そして海嶺の沈み込み(狭義の三波川変成作用と変成帯全体の上昇)によって説明できる。

研究成果の概要(英文)：The metamorphism of the eclogites exposed in the Sambagawa metamorphic belt occurred for relatively short period between 120 Ma and 90 Ma, and it is divided into four major metamorphic events, i.e. i) high-T type metamorphic event, ii) two fold eclogitic metamorphic events, and iii) glaucophane schist to epidote amphibolite facies metamorphic event. These metamorphic events are correlated to the tectonic settings in the subduction zone, i) contact metamorphism due to the inception of an oceanic plate subduction, ii) obtaining the steady state low-geothermal gradient and subsequent ridge approaching resulting in relatively high-geothermal gradient in the subduction zone, and finally medium-P/T Sambagawa metamorphism and exhumation of whole metamorphic sequence probably due to the ridge subduction.

研究分野：変成地質学

キーワード：テクトニクス 変成岩 エクロジャイト P-T経路 地質年代 三波川変成帯 キルギス モンゴル

## 様式 C - 19、F - 19、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

- (1) グローバルテクトニクスの中で、サブダクションとそれに引き続く大陸衝突の指標としての高圧型・超高压型変成岩の研究は、1984年の広域変成岩中のコース石の発見以来、世界中で多数の研究が行われてきた。
- (2) 三波川エクロジャイトの変成作用は、高温型変成作用イベント(角閃岩相)、エクロジャイト相変成作用イベント(1または2回のエクロジャイト相変成作用)、そして緑れん石角閃岩相変成作用イベントの3回の変成イベントが認められる。
- (3) エクロジャイト変成作用の年代として、SHRIMP U-Pb年代が120-110 Ma, Lu-Hf年代が116 Ma, 89 Ma, エクロジャイト変成イベント後の三波川結晶片岩変成作用は100-90 Maと推定されている。
- (4) エクロジャイトの原岩として五良津西部岩体は岩層分布より海洋プレート上の地形的高まり(海山, 海台, 島弧)が考えられた。また、五良津岩体のエクロジャイトの地球化学的性質より原岩は海洋性島弧と考えられた。
- (5) 三波川変成帯はこれまでに精力的に研究が進められてきたが、エクロジャイトの原岩、変成作用とその上昇のテクトニクスに関して、キーポイントとなるデータの一部が欠如している。

### 2. 研究の目的

- (1) 三波川変成岩のうち、最も深部にまで沈み込んで変成作用を受けたエクロジャイトについて、その原岩から、変成作用を経て、上昇に至るまでのテクトニクスまでの全体像を明らかにする。
- (2) 研究上のポイントは、エクロジャイト変成以前の高圧型変成作用、複数のエクロジャイト変成イベントの実体、そしてエクロジャイト変成イベント後の緑れん石角閃岩相変成作用と三波川変成作用の対比の3点である。
- (3) これらの重要課題に焦点を当てて、変成岩岩石学、地質年代学、および変成岩原岩の地球化学的研究を行う。
- (4) 三波川変成帯のエクロジャイトと類似した変成履歴を示すキルギスおよびモンゴルのエクロジャイトとの比較検討を行い、サブダクション帯での高圧型変成作用のテクトニック・モデルを構築する。

### 3. 研究の方法

- (1) 本研究において行う、変成岩岩石学、地質年代学、および地球化学的研究のために使用する岩石サンプルの採取と現地地質調査を、三波川変成帯(四国中央部別子地域)のほ

- かキルギス(マクバル)とモンゴル(チャンドマン)の高圧~超高压変成帯において行う。
- (2) 採取した岩石試料と高須が所有する既存のサンプルについて、岩石記載とEPMAによる鉱物化学組成の分析を行う。
- (3) 全岩化学組成分析のための試料(主に泥質・砂質片岩)の調製を行い、XRFおよびICP-MSによる主要元素および微量成分元素の化学分析を実施する。分析結果を検討し、高圧型変成岩の原岩と起源についての検討を行う。
- (4) 高圧型変成岩の地質年代測定(フィッシュン・トラック法, Sm-Nd法, K-Ar法)のための岩石サンプルを選定し、年代測定に必要な鉱物(ジルコン, ざくろ石, オンファス輝石, フェンジャイト, ホルンブレンドなど)の分離・精製を行う。分離した鉱物粒の化学分析を行い、鉱物形成時期の変成作用との対比を行う。
- (5) 高圧型変成岩(主にエクロジャイト)について、エクロジャイト変成に先行しておこった高温型変成作用(角閃岩相~グラニュライト相)の変成条件の解析、大野谷エクロジャイトに見られた複数のエクロジャイト変成イベントの解析(瀬場谷変斑れい岩のエクロジャイトを使用)およびエクロジャイト変成に引き続く緑れん石角閃岩相変成作用と三波川変成作用の関係の解明を行う。変成岩のP-T経路の解析には地質温度圧力計を駆使するほか、THERMOCALCおよびシュードセクション・モデリングを併用して精度の高い変成岩岩石学的研究を行う。
- (6) Rb-Sr, Sm-Nd法, 微小領域U-Pb法, FT法, K-Ar・ $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法による年代測定を実施する。各種年代測定法による年代結果を総合的に評価する。
- (7) 変成岩類の原岩の地球化学的性質、P-T経路の詳細解析と地質年代測定結果を総合して、三波川変成帯のエクロジャイトと結晶片岩類の原岩、変成作用そして変成岩の地下深部からの上昇のテクトニクスを、既存の研究結果も合わせて議論する。

### 4. 研究成果

- (1) 以下の地域において岩石サンプルの採取と現地地質調査を行った: 三波川変成帯(四国中央部別子地域, 四国東部高越-眉山地域, 紀伊半島西部)紀伊半島西部四万十帯, キルギス(マクバル), モンゴル(チャンドマン)の高圧~超高压変成帯。
- (2) 採取した岩石試料と既存のサンプルについて、詳細な岩石記載とEPMAによる鉱物化学組成の分析を行った。
- (3) 三波川結晶片岩と四万十累層群(主に泥質・砂質岩)のXRFおよびICP-MSによる主要元素および微量成分元素の化学分析を行い、四

万十帯が三波川変成岩の原岩の原岩として矛盾のないことを明らかにした。

(4) 変成岩類の地質年代測定を実施した。

四国東部眉山地域三波川帯のざくろ石藍閃石片岩のK-Ar年代として68-109 Maを得た。

三波川変成岩の原岩と考えられる四万十累層群龍神層, 美山層, 湯川層, および花園層の砂質岩中の碎屑性ジルコンのフィッシュン・トラック年代測定を行った, 最も若い年代グループの年代値は, それぞれ60 Ma, 68 Ma, 126 Ma及び68 Maとなり, いずれも微化石から推定されている堆積年代に近い年代となった。

モンゴル・チャンドマン地域のエクロジヤイト及び関連変成岩のK-Ar年代測定を行い459-612 Maを得た。

キルギス・マクバル地域の泥質片岩より424-474 Maが得られた。

スリランカ・ハイランドコンプレックスのジルコンのICP-MSによる変成年代として538 Maが得られた。また, モナザイトのCHIME年代として434-533 Maの年代値を得た。

(5) 三波川エクロジヤイト変成に先行しておこった高温型変成作用(角閃岩相~グラニュライト相)について, 瀬場谷泥質片岩, 五良津東部岩体, 東平変斑れい岩体, 眉山ざくろ石藍閃石片岩において, その変成条件の性質を明らかにした。

(6) 三波川変成帯瀬場泥質片岩, 瀬場エクロジヤイト質塩基性片岩, 東平藍晶石ざくろ石角閃岩, 眉山ざくろ石藍閃石片岩について, 地質温度圧力計ほか, THERMOCALCおよびシュードセクション・モデリングを併用して精度の高い変成P-T経路の解析を行った。また, 瀬場エクロジヤイト質塩基性片岩では, エクロジヤイト変成作用時に流体中に相当量のCO<sub>2</sub> (XC02=0.02-0.05)が含まれていた事を明らかにした。

(7) 三波川帯のエクロジヤイトの変成作用は, 高温型変成作用イベント(角閃岩相~グラニュライト相), エクロジヤイト相変成作用イベント(1回または2回のエクロジヤイト相変成作用。-1 1回目は相対的に低地温勾配下での変成作用作用で高越のローソン石エクロジヤイトを形成した。-2 2回目は高地温勾配下のエクロジヤイトで石英エクロジヤイト岩体の藍晶石エクロジヤイトなどを形成した), そして 藍閃石片岩相-緑れん石角閃岩相変成作用イベント(狭義の三波川変成作用に対応)の3回の変成イベントが認められる。エクロジヤイト岩体により変成史が異なるのは, 岩体ごとに沈み込みと上昇のタイミングが異なることが原因である。

(8) 変成イベントとテクトニクスの対応は, はサブダクション初期の大陸側プレートによる接触変成作用。その後のサブダクション

の継続に伴う地温勾配の低下により -1の低温エクロジヤイト変成作用, その後の海嶺の接近による地温勾配の上昇と -2の高温型エクロジヤイト変成作用。そしてさらに海嶺の接近(あるいは海嶺の沈み込み)による の変成作用と変成岩全体の地表への上昇が考えられる。変成作用の時期については, , -1, -2及び のピーク変成作用が120-90 Maの短時間の間に起こったものと考えられ, これはこれまでから推定されていたこの時期の高速斜め沈み込みによって引き起こされた現象と推定された。

(9) 最近, 世界各地の高圧型変成帯において, 沈み込みと上昇を繰り返す現象(ヨーヨー・サブダクション: Yo-yo subduction)が報告されているが, このような変成岩について, 三波川変成帯と同様に, 高速斜め沈み込みのテクトニック・セッティングでの変成作用によって形成された可能性を検討し, 提案した。

## 5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計49件)

Orozbaev, R., Hirajima, T. Bakirov, A., Takasu, A., Maki, K., Yoshida, K., Sakiev, K. Bakirov, A., Hirata, T., Tagiri, M. and Togonbaeva, A. (2015) Trace element characteristics of clinozoisite pseudomorphs after lawsonite in talc-garnet-chloritoid schists from the Makbal UHP Complex, northern Kyrgyz Tian-Shan. *Lithos* (査読有), 226, 98-115.

Javkhlan, O., Takasu, A., Bat-Ulzii, D. and Kabir, M.F. (2015) Metamorphism of eclogites and associated metamorphic rocks in the Chandman district, Lake Zone, SW Mongolia. *Mongolian Geoscientist* (査読有), 42, 43-49.

Kabir, M.F. and Takasu, A. (2015) Amphiboles from the garnet glaucophane schists in the Bizan area, Sambagawa metamorphic belt, eastern Shikou, Japan. *Geoscience Report of Shimane University* (査読無), 33, 29-37.

Guo, X., Takasu, A., Liu, Y. and Li, W. (2014) Zn-rich spinel in association with quartz in the Al-rich metapelites from the Mashan khondalite series, NE China. *Journal of Earth Science* (査読有), 25, 207-223.

doi:10.1007/s12583-014-0428-4

- Li, W.M., Liu, Y.J., Takasu, A., Zhao, Y.L., Wen, Q.B., Guo, X.Z. and Zhang, L. (2014) Pressure (P) -temperature (T) -time (t) paths of the blueschists from the Yilan area, Heilongjiang Province. *Acta Petrologica Sinica* ( 査読有 ), 30, 3085-3099.
- Takasu, K., Roser, B.P. and Musashino, M. 2015. Heavy-mineral assemblages of estuarine deposits around Lake Biwa. *Earth Science* ( 査読有 ), 69, 123-138.
- Javkhlán, O., Takasu, A., Bat-Ulzii Dash, B.-U. and Kabir, M.F. (2013) Metamorphic pressure-temperature evolution of garnet-chloritoid schists from the Lake Zone, SW Mongolia. *Journal of mineralogical and Petrological Sciences* ( 査読有 ), 108, 255-266. doi: 10.2465/jmps.120803
- Roy, D.K., Roser, B.P. 2013: Geochemical evolution of the Tertiary succession of the NW shelf, Bengal basin, Bangladesh: Implications for provenance, paleoweathering and Himalayan erosion. *Journal of Asian Earth Sciences* ( 査読有 ), 78, 248–262.
- Purevjav, N. and Roser, B.P. (2013) Geochemistry of Devonian–Carboniferous sedimentary rocks of the Ulaanbaatar terrane, Hangay–Hentey basin, central Mongolia: provenance, paleoweathering, tectonic setting, and comparison with the adjacent Tsetserleg terrane. *Chemie der Erde –Geochemistry* ( 査読有 ), 73, 481–493.
- Kamei, A., Horie, K., Owada, M., Yuhara, M., Nakano, N., Osanai, Y., Adachi, T., Hara, Y., Terao, M., Teuchi, S., Shimura, T., Tsukada, K., Hokada, T., Iwata, C., Shiraishi, K., Ishizuka, H., Takahashi, Y. (1923) Late Proterozoic juvenile arc metatonalite and adakitic intrusions in the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, Antarctica. *Precambrian Research* ( 査読有 ), 234, 47-62. doi: 10.1016/j.precamres.2012.09.026
- Nakano, N., Osanai, Y., Kamei, A., Satish-Kumar, M., Adachi, T., Hokada, T., Baba, S., Toyoshima, T. (2013) Multiple thermal events recorded in metamorphosed 1 carbonate and associated rocks from the southern Austkampane region in the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: A protracted Neoproterozoic history at the Gondwana suture zone. *Precambrian Research*( 査読有 ), 234, 161-182. doi: 10.1016/j.precamres.2012.10.009
- Otsuji, N., Satish-Kumar, M., Kamei, A., Tsuchiya, N., Kawakami, T., Ishikawa, M., Grantham, G.H. (2013) Late-Tonian to early-Cryogenian apparent depositional ages for metacarbonate rocks from the Sør Rondane Mountains, East Antarctica. *Precambrian Research*( 査読有 ), 234, 257-287. doi: 10.1016/j.precamres.2012.10.016
- Owada, M., Kamei, A., Horie, K., Shimura, T., Yuhara, M., Tsukada, K., Osanai, Y., Baba, S. (2013) Magmatic history and evolution of continental lithosphere of the Sør Rondane Mountains, eastern Dronning Maud Land, East Antarctica. *Precambrian Research* ( 査読有 ), 234, 63-84. doi: 10.1016/j.precamres.2013.02.007
- Osanai, Y., Nogi, Y., Baba, S., Nakano, N., Adachi, T., Hokada, T., Toyoshima, T., Owada, M., Satosh-Kumar, M., Kamei, A. and Kitano, I. (2013) Geologic evolution of the Sør Rondane Mountains, East Antarctica: Collision tectonics proposed based on metamorphic processes and magnetic anomalies. *Precambrian Research*( 査読有 ), 234, 8-29. doi: 10.1016/j.precamres.2013.05.017
- Okamoto, K., Jhan, B., Yui, T.-F. and Akasaka, M. (2013) Redox state at ultrahigh-pressure metamorphism: Constraint from the Chinese Continental Scientific Drilling eclogites. *Island Arc* ( 査読有 ), 22, 25-36.
- Takasu, A. and Kabir, M.F. (2012) Chemical compositions of white-micas (muscovite, phengite and paragonite) from the Seba eclogitic basic schists in the Sambagawa metamorphic belt,

central Shikoku, Japan. Geoscience Reports of Shimane University ( 査読無 ), 31, 49-58.

Purevjav, N., Roser, B.P. (2012) Geochemistry of Devonian-Carboniferous clastic sediments of the Tsetserleg terrane, Hangay Basin, Central Mongolia: Provenance, source weathering and tectonic setting. Island Arc( 査読有 ), 21, 270-287.

doi:10.1111/j.1440-1738.2012.00821.x

Kumon, F., Bessho, T. and Roser, B.P. (2012) Modal and chemical characteristics of the coarse clastic rocks from the Shimanto terrane in Kii Peninsula, Southwest Japan. In: Kishu Shimanto Research Group (ed.) New perspectives on the study of the Cretaceous to Paleogene Shimanto Accretionary Prism in the Kii Peninsula, Southwest Japan. The Association for the Geological Collaboration in Japan, Monograph ( 査読有 ), 59, 193-216.

〔学会発表〕(計74件)

高須 晃・Kabir M.F. (2015) 別子地域三波川帯瀬場エクロジャイト質塩基性片岩中の泥質片岩の変成 P-T 経路 . 日本地球惑星科学連合 2015 年大会 , 5 月 24 日 , 幕張メッセ ( 千葉市 )

Kabir, M.F., Takasu, A. (2015) Metamorphism of dolomite-bearing eclogite in the Seba eclogitic basic schists, Sambagawa belt, central Shikoku, Japan. Japan Geoscience Union Meeting 2015, May, 24, Makuhari Messe (Chiba, Japan).

高須 晃 (2014) 四国中央部別子地域三波川帯東平変斑れい岩体の含藍晶石ざくろ石角閃岩の変成組織 . 日本鉱物科学会 2014 年年会 , 9 月 19 日 , 熊本大学 ( 熊本市 ) .

Wanniarachchi, D.N.S. and Akasaka, M. (2014) Proterozoic and Paleozoic internal textural events in zircon and monazite on metamorphic rocks of Southwestern Group, Sri Lanka. 2014 Meeting of Japan Association of Mineralogical Sciences, Sep. 19, Kumamoto Univ. (Kumamoto, Japan).

EJIMA, T., Akasaka, M. (2014) Ferric iron within olivine in a lherzolite xenolith from Oku district, Oki-Dogo Island, Shimane Prefecture, Japan.

21st General Meeting of International Mineralogical Association, Sep. 3, Johannesburg (South Africa).

Roser, B.P. (2013) Geochemistry of Cretaceous Shimanto sediments and Sambagawa schists, Kii Peninsula. 67th Annual Meeting of the Association for Geological Collaboration in Japan, Shimane Univ. (Matsue, Japan).

Takasu, A. (2013) Metamorphic P-T evolution of the Seba pelitic schists in the Sambagawa metamorphic belt, central Shikoku, Japan. 10th International Eclogite Conference, Sep. 2, Courmayeur (Italy).

Kabir, M. F. and Takasu, A. (2013) Jadeite-bearing garnet glaucophane schists in the Sambagawa metamorphic belt, Bizan area, eastern Shikoku, Japan: modes of occurrence and extent of eclogite distribution. 10th International Eclogite Conference, Sep. 2, Courmayeur (Italy).

Orozbaev, R., Takasu, A. (2013) Trace element characteristics of lawsonite pseudomorphs in talc-garnet-chloritoid schists, Makbal UHP complex, Kyrgyz Tien-Shan. 10th International Eclogite Conference, Sep. 2, Courmayeur (Italy).

高須 晃 (2012) 四国東部眉山地域三波川帯変成帯のざくろ石藍閃石片岩の変成作用 . 日本鉱物科学会 2012 年年会 , 9 月 19 日 , 京都大学 ( 京都市 ) .

Orozbaev, R., Takasu, A. (2012) Lawsonite pseudomorph in UHP talc-garnet-chloritoid schist of Makbal Complex, northern Tien-Shan, Kyrgyzstan. 34th International Geological Congress, Aug. 5, Brisbane (Australia).

## 6 . 研究組織

### (1) 研究代表者

高須 晃 (TAKASU, Akira)  
島根大学・総合理工学研究科・教授  
研究者番号 : 0 0 1 8 3 8 4 8

### (2) 研究分担者

亀井淳志 (KAMEI Atsushi)  
島根大学・総合理工学研究科・准教授  
研究者番号 : 6 0 3 7 9 6 9 1

ロザー バリー (ROSER, Barry)  
島根大学・総合理工学研究科・准教授  
研究者番号 : 6 0 3 2 5 0 4 0

(2014年9月まで)

赤坂正秀 (AKASAKA, Maasahide)  
島根大学・総合理工学研究科・教授  
研究者番号：20202509

大平寛人 (OHIRA, Hiroto)  
島根大学・総合理工学研究科・准教授  
研究者番号：60273918

(3) 研究協力者

Kabir, M.F.  
島根大学・総合理工学研究科・研究員

Orozbaev, R.  
キルギス科学アカデミ地質研究所・研究員

Javkhalan, O.  
島根大学・総合理工学研究科・博士後期  
課程大学院生(現 モンゴル科学技術大  
学・講師)

松浦弘明 (MATSUURA, Hiroaki)  
島根大学・総合理工学研究科・大学院生  
(博士前期課程)  
(2014年3月まで)

貝沼雅亮 (KAINUMA, Masaaki)  
島根大学・総合理工学研究科・大学院生  
(博士前期課程)  
(2014年3月まで)