

令和元年6月21日現在

機関番号：15201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K05577

研究課題名(和文)三波川エクロジャイトを形成したYo-Yoテクトニクスの研究

研究課題名(英文)Yo-Yo tectonics of the Sambagawa eclogites

研究代表者

高須 晃 (Takasu, Akira)

島根大学・総合理工学研究科・名誉教授

研究者番号：00183848

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：三波川変成帯のエクロジャイトには、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サブダクション帯において複数回の沈み込みと上昇のサイクルを繰り返したこと(Yo-yoテクトニクス)によって説明できる。原岩の沈み込み開始時期、地表への上昇の時期の違いにより、～のうちの一部のみの変成作用を受けている。西南日本内帯の三郡変成帯(蓮華帯)、キルギス北部天山、モンゴルレイク帯のエクロジャイトを伴う高圧型変成帯においてもYo-Yoテクトニクスが認められた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

三波川変成帯のエクロジャイト、三郡変成帯(蓮華帯)のエクロジャイト、またキルギス、モンゴルのエクロジャイトをともなう高圧型変成帯において複数回の沈み込み-上昇のサイクルを繰り返していることが明らかになった。三波川帯のエクロジャイトのYo-Yoテクトニクスは高速の高角斜め沈み込み(highly oblique subduction)に伴って引きおこされた。各地の高圧型変成帯のエクロジャイト岩体の上昇-沈み込みについても高角斜め沈み込みが原因している可能性を提起した。

研究成果の概要(英文)： The metamorphism of the Sambagawa eclogites 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 multiple repetition of subduction and exhumation is explained by Yo-Yo subduction or Yo-Yo tectonics. Each eclogitic body experienced some of the four events depending on the timing of subduction and exhumation. metamorphic events. The Yo-Yo tectonics is recognized in the Sangun metamorphic belt, the Northern Tianshan in Kyrgyzstan and Mongolian Lake zone.

研究分野：変成地質学

キーワード：エクロジャイト 青色片岩 P-T経路 シュードセクション 三波川変成帯 三郡変成帯 キルギス 中国

1. 研究開始当初の背景

(1) トルコの Nigde Massif の変成岩において 2 回の埋没と上昇の繰り返しが明らかにされ、これを Yo-Yo サイクル、構造運動を Yo-Yo テクトニクスと呼んだ (Whitney et al., 2008)。その後、Rubatto et al. (2011) が Nature Geoscience に西アルプス Sesia 帯の高圧型変成岩の組織の解析と年代測定の結果から 2 回のサブダクションと上昇のサイクルが認められることを明らかにし、これを Yo-Yo サブダクションと呼んだ。

(2) 三波川変成帯はこれまでに多数の研究が行われ、世界で最も研究が進んだ高圧型変成帯となっている。サブダクション帯で形成されたエクロジャイトをはじめとする高圧型変成岩は、これまで、一般的には 1 回のサイクルの沈み込みと上昇によって形成されたものと考えられてきた。三波川エクロジャイトの詳細な記載岩石学的研究の結果、少なくともその一部について、3 回の沈み込み - 上昇のサイクルを経ている (Yo-Yo テクトニクス) ことが明らかになった。

2. 研究の目的

(1) 三波川変成帯はこれまでに多数の研究が行われ、世界で最も研究が進んだ高圧型変成帯となっている。サブダクション帯で形成されたエクロジャイトをはじめとする高圧型変成岩は、これまで、一般的には 1 回のサイクルの沈み込みと上昇によって形成されたものと考えられてきた。三波川エクロジャイトの詳細な記載岩石学的研究の結果、少なくともその一部について、3 回の沈み込み - 上昇のサイクルを経ている (Yo-Yo サブダクション) ことが明らかになった。三波川エクロジャイトの岩石学的研究と地質年代学的研究を融合することにより、Yo-Yo サブダクションの実体を明らかにするとともに、Yo-Yo サブダクションで形成されたエクロジャイト形成のテクトニック・モデルを構築する。

(2) 三波川変成帯のほか、三郡変成帯、キルギス北部天山 (アクチュス、マクバル)、中国・黒竜江コンプレックス、モンゴル・レイク帯などのエクロジャイトにおいて Yo-Yo テクトニクスを検討する。

3. 研究の方法

(1) 三波川帯に分布するエクロジャイト岩体の詳細な地質学的及び岩石学的記載を行い、それらをもとにそれぞれの岩体変成 P-T 経路を明らかにする。変成 P-T 経路の解析にあたっては、各種地質温度圧力計を適用するとともに、シュードセクション・モデリングを使い P, T 条件の定量的な見積を行う。

(2) エクロジャイトの変成作用時の年代を K-Ar 法等を用いて明らかにする。

(3) 構造岩石学的記載、エクロジャイトの変性 P-T 経路、地質年代の結果を統合し、Yo-Yo サブダクションにともなうエクロジャイト形成のテクトニクスを議論する。この際、三郡変成帯、キルギス、中国およびモンゴルのエクロジャイトを比較検討材料として使用する。

4. 研究成果

(1) 三波川変成帯 (四国東部高越地域・眉山地域、四国中央部別子地域瀬場谷、肉淵谷、小女郎川流域、西条地域) においてフィールド地質調査と岩石試料採取を行った。三波川

変成帯との比較検討のため三郡変成帯（島根県江津地域の周防変成帯，岡山県大佐山地域及び新潟県青海地域の蓮華変成帯），隠岐島後の飛騨変成岩，キルギス・マクバル地域の高圧～超高压変成岩分布地域においてフィールド地質調査と岩石試料の採取を行った．江津地域の三郡変成帯（周防変成帯）の蛇紋岩体中のブロックとして藍閃石エクロジャイトを見いだした．これは，長野県及び新潟県（飛騨外縁帯）以外の三郡変成帯からの初めてのエクロジャイトの産出である．

(2) 眉山地域，高越地域，別子地域の三波川変成帯，江津地域，長野県白馬地域の三郡変成帯，キルギス・マクバルのエクロジャイト及び青色片岩，中国・黒竜江コンプレックス，モンゴル・レイク帯のエクロジャイトについて岩石記載，EPMA による変成鉱物の化学分析を行った．これらのデータをもとに，それぞれの変成岩の変成 P-T 経路の推定を行った．

(3) 四国東部・眉山地域の三波川変成帯より見いだされたエクロジャイト相変成岩（ひすい輝石 - ざくろ石 - 藍閃石片岩）変成 P-T 経路の詳細な解析を行った．この変成岩には2回の高圧型変成作用イベントが認められ，1 回目の変成作用はエクロジャイト相に達し，シュードセクション・モデリングにより 580-600 °C，18-20 kbar の変成条件が見積もられた．2 回目の変成イベントは緑れん石角閃岩相に達するものであることを明らかにした．

(4) 三波川エクロジャイトは高温型変成作用イベント，低温型エクロジャイト相変成作用イベント，高温型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サブダクション帯において複数回の沈み込みと上昇のサイクルを繰り返したこと（Yo-yo テクトニクス）によって説明できる．原岩の沈み込み開始時期，地表への上昇の時期の違いにより 1 回目の変成イベントのうちの一部のみの変成作用を受けていると考えた．

(5) 江津地域の三郡変成帯に分布する青色片岩について，変成鉱物組合せ・変成鉱物化学組成とシュードセクション・モデリングにより 475-500 °C，14-16 kbar の変成条件を明らかにした．また，蛇紋岩体中のブロックとして見いだされたエクロジャイト質岩（藍閃石エクロジャイト）はシュードセクション・モデリングにより 570-580 °C，24-25kbar の変成条件が得られた．

(6) 江津地域のエクロジャイト質岩（No. 903）と青色片岩と互層する泥質片岩（901, 902）中のフェンジャイトの K-Ar 年代測定を行った．結果は No. 903 エクロジャイト質岩は 216.5 ± 4.6 Ma，No. 901 細粒フェンジャイト 187.0 ± 4.0 Ma，粗粒フェンジャイト 190.7 ± 4.1 Ma，No. 902 細粒フェンジャイト 181.5 ± 3.9 Ma，粗粒フェンジャイト 183.2 ± 3.9 Ma となった．泥質片岩の年代はこれまで江津地域の周防帯結晶片岩から得られていたおよそ 200 Ma の年代値と調和的である．エクロジャイトの年代が泥質片岩に比べて若干古い，蓮華帯変成岩の示すおよそ 300 Ma の年代とは異なる．エクロジャイト変成作用の年代を得るためには，今後 ICP-MS によるジルコンの U-Pb 年代測定が必用である．

(7) 三波川エクロジャイトとの比較検討のため，キルギス，中国，モンゴルのエクロジャイト及び青色片岩の変成 P-T 経路経路の推定を行った．

<引用文献>

Rubatto, D., Regis, D. Hermann, J., Boston, K., Engi, M., Beltrando, M. and

McAlpine, S.R.B. (2011) Yo-yo subduction recorded by accessory minerals in the Italian Western Alps. *Nature Geoscience*, 4, 338-342.

Whitney, D.L., Umhoefer, P.J., Teyssier, C. and Fayon, A.K. (2008) Yo-yo tectonics of the Nigde Massif during wrenching in Central Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 17, 209-217.

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 14 件)

Li, W., Liu, Y., Takasu, A., Kabir, F., Liang, C., Feng, Z. and Zheng, L. (2019) Metamorphic evolution of the Heilongjiang glaucophanic rocks, NE China: constrains from the P-T pseudosections in the NCKFMASHTO system. *Geological Journal*, 査読有, 54, 698-715.

DOI: 10.1002/gj.3455

Kodama, S., Owada, M., Imaoka, T., Kamei, A. (2019) Sr-Nd isotopic compositions of the Susuma-Nagao Plutonic Complex in the San-yo Belt, Southwest Japan: Implications for the Cretaceous enriched mantle. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 査読有, 114.

DOI:10.2465/jmps.181118b (J-Stage 早期公開中)

Satybaeva, M., Ding, L., Takasu, A., Bakirove, A., Sakiev, K., Cai, F., Orozbaev, R., Bakirov, A, Baslakunov, J. (2018) Petrology of metamorphic rocks from the Atbashy Complex, Southern Tien-Shan, Kyrgyzstan. *Geoscience Frontiers*, 査読有, 9, 1795-1807.

<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2017.11.005> open access

Yoshida, K., Orozbaev, R., Hirajima, T., Miyake, A., Tsuchiyama, A., Bakirov, A., Takasu, A. and Sakiev, K. (2018) Micro-excavation and direct chemical analysis of individual fluid inclusion by cryo-FIB-SEM-EDS: an application to the UHP Talc-Garnet-Chloritoid schist from the Makbal Metamorphic Complex, Kyrgyz Tian-Shan. *Geochemical Journal*, 査読有, 52, 59-67.

DOI: 10.2343/geochemj.2.0502

Kabir, Md. F., Takasu, A. and Li, W. (2018) Metamorphic P-T evolution of the Gotsu blueschists from the Suo metamorphic belt in SW Japan. *Mineralogy and Petrology*, 査読有, 112, 819-836.

DOI: 10.1007/s00710-018-0584-9

Endo, S., Miyazaki, K., Danhara, T., Iwano, H., Hirata, T. (2018) Progressive changes in lithological association of the Sanbagawa metamorphic complex, Southwest Japan: Relict clinopyroxene and detrital zircon perspectives. *Island Arc*, 査読有, 27, e12261

Li, W., Kabir, Md F., Liu, Y., Guo, X., Takasu, A. (2017) Metamorphism of the blueschists in the Suo metamorphic belt, Gotsu area, SW Japan. *Earth Science*, 査読無, 71, 17-25.

- Zhao, L., Takasu, A., Liu, Y. and Li, W. (2017) Blueschist from the Toudaoqiao Area, Inner Mongolia, NE China: Evidence for the Suture between the Ergun and the Xing'an Blocks. *Journal of Earth Science*, 査読有, 28, 241-248.
DOI: 10.1007/s12583-017-0721-0
- Endo, S. and Wallis, S.R. (2017) Structural architecture and low-grade metamorphism of the Mikabu-Northern Chichibu accretionary wedge, SW Japan. *Journal of Metamorphic Geology*, 査読有, 35, 695-716.
DOI: 10.1111/jmg.12251
- Endo, S. (2017) Ilvaite-manganilvaite series minerals in jasper and iron-manganese ore from the Northern Chichibu belt, central Shikoku, Japan. *Journal of Mineralogical Petrological Sciences*, 査読有, 112, 166-172.
DOI: 10.2465/jmps.170408
- Watanabe, Y., Kon, Y., Echigo, T., Kamei, A. (2017) Differential fractionation of rare earth elements in oxidized and reduced granitic rocks: Implication for heavy rare-earth enriched ion-adsorption mineralization. *Resource Geology*, 査読有, 67, 35-52.
DOI: org/10.1111/rge.12119
- Kabir, M.F. and Takasu, A. (2016) Jadeite-bearing garnet glaucophane schists in the Bizan area, Sambagawa metamorphic belt, eastern Shikoku, Japan: significance and extent of eclogite facies metamorphism. *Journal of Metamorphic Geology*, 査読有, 34, 891-916.
DOI: 10.1111/jmg.12198
- Kawahara, H., Endo, S., Wallis, S.R., Nagaya, T., Mori, H. and Asahara, Y. (2016) Brucite as an important phase of the shallow mantle wedge: evidence from the Shiraga unit of the Sanbagawa subduction zone, SW Japan. *Lithos*, 査読有, 254-255, 53-66.
DOI: 10.1016/j.lithos.2016.02.022
- Kim, D., Wallis, S., Endo, S. and Ree, J.-H. (2016) Seismic properties of lawsonite eclogites from the southern Motagua fault zone, Guatemala. *Tectonophysics*, 査読有, 677-678, 88-98.
DOI: 10.1016/j.tecto.2016.04.012

[学会発表](計 3 件)

- 高須 晃・Kabir, Md Fazle・遠藤俊祐 島根県江津地域蛇紋岩体中のエクロジイト質変成岩ブロック. 日本地質学会, 2018.
- 高須 晃 三波川エクロジイトの多様性. 日本地質学会(招待講演), 2017.
- 高須 晃・Kabir, Md. F. 鳥取県若桜地域の蓮華変成帯に分布する青色片岩の変成作用. 日本鉱物科学会, 2016.

[図書](計 1 件)

Bakirov A.B., Tagiri M., Takasu A., et al. (U)HP Terranes of Tien-Shan. Kyrgyz National Academy of Science, 2017, 232.

6 . 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：遠藤 俊祐

ローマ字氏名：(ENDO, Shunsuke)

所属機関名：島根大学

部局名：学術研究院環境システム科学系

職名：准教授

研究者番号（8桁）：60738326

研究分担者氏名：亀井 淳志

ローマ字氏名：(KAMEI, Atsusi)

所属機関名：島根大学

部局名：学術研究院環境システム科学系

職名：教授

研究者番号（8桁）：60379691

(2)研究協力者

研究協力者氏名：KABIR, Md. Fazle

ローマ字氏名：(KABIR, Md. Fazle)

研究協力者氏名：蔵谷 樹

ローマ字氏名：(KURAYA, Itsuki)

研究協力者氏名：真鍋 暢

ローマ字氏名：(MANABE, Toru)

研究協力者氏名：田嶋 大隆

ローマ字氏名：(TAJIMA, Hirotaka)

研究協力者氏名：山田 雄大

ローマ字氏名：(YAMADA, Yutai)

研究協力者氏名：KASYMBEKOV, Adil

ローマ字氏名：(KASYMBEKOV, Adil)

研究協力者氏名：JAVKHLAN, Otgonkuu

ローマ字氏名：(JAVKHLAN, Otgonkuu)

研究協力者氏名：OROZBAEV, Rustam

ローマ字氏名：(OROZBAEV, Rustam)

研究協力者氏名：TOGONBAEVA, Asel

ローマ字氏名：(TOGONBAEVA, Asel)

研究協力者氏名：NEUBAUER, Franz

ローマ字氏名：(NEUBAUER, Franz)