

平成 23 年 2 月 16 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
 研究期間：2007～2009
 課題番号：19540477
 研究課題名 (和文) ジルコン包有物を使ったヒマラヤ超高压変成帯の温度圧力構造の決定
 研究課題名 (英文) Thermobaric structure of Himalayan UHP metamorphic belt induced by zircon inclusion method

研究代表者

金子 慶之 (KANEKO YOSHIYUKI)
 明星大学・理工学部・准教授
 研究者番号：50397080

研究成果の概要 (和文)：超高压変成岩を特徴づける鉱物はコーズ石のみに限定されることからヒマラヤ超高压変成帯の最高圧力深度は 95～120km の範囲であったと考えられる。さらに、コーズ石の出現地域はエクロジヤイト出現位置の近傍、層厚 100m 以内に限定されることから、超高压変成部と高压部との境界は断層関係で接している可能性があり、マントル下 95～120km の深部で超高压変成作用を被った変成岩類が薄いレイヤーとして上昇し、中下部地殻下 30～40km でヒマラヤ変成帯本体に貫入、合体定置したとの結論を得た。

研究成果の概要 (英文)：Coessite relics were discovered as inclusions in Cpx in eclogite and as inclusions in zircon in felsic and pelitic gneisses from Higher Himalayan Crystalline rocks in upper Kaghan valley, north-west Himalayas. The metamorphic peak conditions of the ultrahigh-pressure (UHP) eclogites are estimated to be 28.6 ± 0.4 kbar and $757\text{--}786^\circ\text{C}$. The Himalayan UHP metamorphic rocks crops out a very thin layer (<100m) sandwiched between overlying and underlying medium to high-pressure metamorphosed units. This imply that the very thin UHP layer moved up from the mantle depth (95-120km) to the mid-crustal level (30-40km), then stopped and thermally altered the surrounding the Higher Himalayan Crystalline rocks.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2008 年度	900,000	270,000	1,170,000
2009 年度	300,000	90,000	390,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

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：ジルコン、ヒマラヤ、超高压変成岩、顕微ラマン

1. 研究開始当初の背景
 岩石鉱物の微小領域研究の進展により、大
- 陸衝突によって形成した造山帯からコーズ石やダイヤモンドといった超高压変成岩を

特徴づける鉱物が、ザクロ石やジルコンの包有鉱物として確認されるようになり、現在までにアルプスをはじめ、ノルウェー、ダービエ、ウラル、コクチェタフ、ヒマラヤなど、世界各地の造山帯で相次いで発見されている。このようなことから大陸間衝突時には、大陸地殻物質が地表下 100km 以上の深さまで沈み込み、再び地表に戻ってきていることがごく一般的な現象として議論されつつある。

ジルコンはダイヤモンドと同様に、結晶成長する過程においてマトリックス鉱物を包有し、化学的・物理的影響を与えることなく安定的に存在させることのできる“ハードカプセル”であることが知られている。すなわち母体となる変成岩自体は一般に後退変成作用の影響を強く受け、**prograde** 期 (昇温変成作用) の記録が書き消されてしまっている場合が普通であるが、ジルコンはこのような影響を受けることなく、変成岩が本来経験した最高温度・圧力条件で形成したと思われる鉱物を包有していることが明らかになってきた。したがって、従来信じられてきた大陸衝突型造山帯を特徴づける中圧型の変成作用の定義は、超高压変成作用を受けた岩石が地殻中深部まで上昇した時に加水再結晶 (再平衡) の結果獲得した“見かけ上の鉱物共生”である可能性が指摘され世界各地の変成帯で議論されている。

パキスタン・カガンバレー地域はかつてのプレート収束帯に位置し、コヒスタン島弧を含むユーラシア大陸とインド亜大陸の間に挟まれた層厚約 10km の角閃岩相に至る変成岩類を伴う地質体である。カガンバレー地域の変成岩類の帰属については、5500-5300 万年前のインド大陸とユーラシア大陸の衝突によって形成したヒマラヤ変成帯の西端部とする学派と、インド大陸の衝突とは無関係なコヒスタン島弧南縁部で形成した、衝突以前の古い変成帯であるとする学派に分かれ、互いが主張する変成年代値をもとに議論されていた。さらに最近になって O'Brien らのスイス ATH グループがこの変成帯の最上部とコヒスタン島弧の境界付近で、エクロジヤイトの転石から超高压変成条件を示すコーズ石を発見したが、転石であるが故にヒマラヤ変成帯、衝突以前の古い変成帯あるいはコヒスタン島弧のいずれに帰属するのか議論されていた。

申請者は本変成帯の帰属と変成条件を明らかにする目的で 1999、2000 年の二度に渡って同地域の地質調査を行い、さらに、変成帯の大部分を構成する珪長質片麻岩、砂泥質片麻岩及びエクロジヤイトからジルコンを抽出し、その包有物を顕微ラマン分光器を用いて鉱物同定を行った。その結果計 9 粒のコーズ石を発見した (Kaneko et al., 2001)。

そして透過像とカソード像からコーズ石を含む他の包有鉱物の微小構造を詳細に調べてみたところ、ジルコンのコア部とマントル部からは石英、白雲母、斜長石、カリ長石、アパタイト、ルチルが確認され、リム部のみコーズ石 (9 粒全て) が認められた (Kaneko et al., 2003; 図 1)。さらに、変成帯の帰属を明らかにする目的でジルコンのそれぞれ異なるドメインをイオンマイクロプローブ (SHRIMP II: 国立極地研究所) を用いて測定し、 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年代をもとめた。その結果、コア年代は 249~196 Ma (5 spots)、石英が認められるマントル部の年代が 49.7 ± 0.4 と 49.7 ± 0.7 Ma (2 spots)、コーズ石が認められるリム部が $44.9 \pm 0.6 \sim 47.4 \pm 1.5$ Ma (4 spots) の年代が得られた。以上のことから 5500-5300 万年前に 249~196 Ma の protolith age をもつインド大陸北端部の大陸地殻物質がユーラシア大陸の下に沈み込み、約 47Ma に深さ 100km 以上の超高压の変成条件に達したことが明らかとなった (Kaneko et al., 2003)。

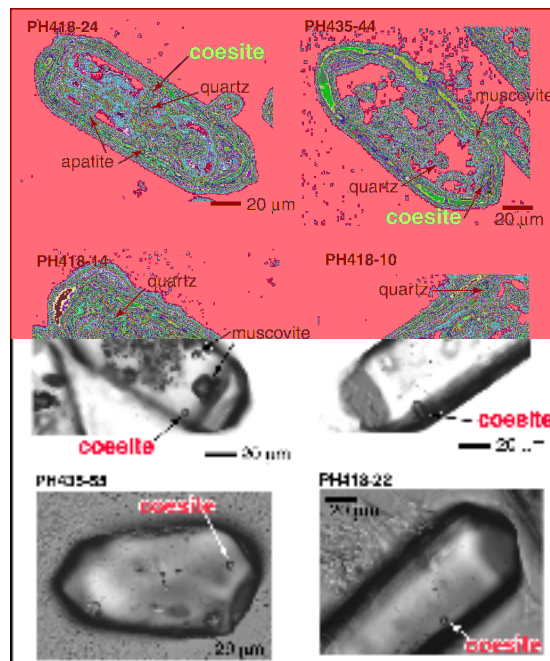


図 1 ジルコンに包有されたコーズ石 (Kaneko et al., 2003)

これらの研究結果は 1) ヒマラヤ変成帯を特徴づける珪長質片麻岩と砂泥質片麻岩からコーズ石を発見したことは超高压変成条件を示すエクロジヤイトのみが異地性岩体として貫入したものではないこと、2) 年代測定結果からインド大陸とユーラシア大陸の衝突に伴ったヒマラヤ変成帯であることが明らかとなった。さらに以上の申請者の研究は、これまで変成岩岩石学が突破することのできなかつた変成履歴の段階的かつ局所

年代測定が可能になったことを意味し（変成温度-圧力-時間経路の精密決定）、このことは造山帯の形成テクトニクス理解に飛躍的進展をもたらす研究として国内外から高い評価を得た。

2. 研究の目的

前述したように世界各地の広域変成帯で相次いでコーズ石やダイヤモンドといった超高压変成岩を特徴づける鉱物が発見されているが、それらの発見場所は、従来の変成岩岩石学的研究手法で最高温度圧力条件を示した岩相近傍の局所的、限定的出現となっている。また超高压変成岩の広域分布が主張された中国ダービエと、カザフスタンコクチェタフにおいても、各々の変成帯自体が水平に近い構造であるため超高压変成岩が地形的に繰り返し出現しているに過ぎない (Kaneko et al., 2000 ; Kaneko et al., 2002)。そこで本研究では、国内外の研究者によって現在議論されている「超高压変成帯の領域と境界問題」すなわち、“変成帯全域が超高压変成作用を被った”あるいは、“変成帯の一部に限定されたものがあった”といった超高压変成帯のテクトニクスに直接関わる問題を明らかにする目的で、Kaneko et al., (2001) で超高压変成岩の出現位置が明らかとなったパキスタン・カガンバレー地域のヒマラヤ変成帯、層厚 10km の最下部から最上部の岩石試料からジルコン抽出、その包有鉱物種の鉱物同定を顕微ラマンを用いてヒマラヤ変成帯の温度圧力構造を明らかにすることを本研究目的とした。

3. 研究の方法

(1) 研究対象地域と岩石試料の選別

Kaneko et al., (2001)、(2003) で超高压変成岩の出現位置が明らかとなったヒマラヤ変成帯西端、パキスタン北西部・カガンバレー地域における Higher Himalayan Crystalline Zone (ヒマラヤ高度変成岩類) 最下部層から最上部層までの (層厚約 10km) 計 254 岩石試料の岩石薄片作成と岩石記載を行った (図 2)。岩石記載作業においてはジルコン鉱物のモード分析を行い、鉱物分離に適した、計 72 岩石試料を選別した。

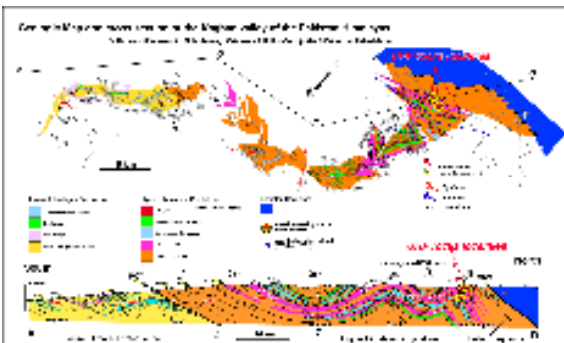


図 2 パキスタン北西部・カガンバレー地域の地質図と地質断面図 (Kaneko et al., 2003 を一部修正加筆)

(2) 鉱物分離と鉱物同定

①超高压変成岩が発見された周辺地域の珪長質片麻岩 (26 試料)、泥質片麻岩 (27 試料)、エクロジャイト (9 試料) の計 72 試料を、岩石粉碎→水洗→篩分け (#16、#30、#60、#120)→椀掛け→磁選→遠心分離法を用いた重液鉱物分離 (SPT, CH2I2) を行った (一部の岩石試料については作業効率を上げるため鉱物分離専門業者に外注)。

②上記一連の作業で選別された鉱物試料 (1 試料につき約 1000~50000 粒程度のジルコンを抽出) から、ジルコン及びアパタイトについて偏光顕微鏡と実体顕微鏡を用いたハンドピッキングによる鉱物分離抽出を行い、顕微ラマン分析試料用のジルコンを分析用ホルダーにマウントする作業を行った (1 試料につき 50~100 粒のジルコンをエポキシ系樹脂にマウント)。

③顕微ラマン分光器を用いてジルコン中の包有鉱物種の同定し、各試料の同定結果をもとに、ジルコン包有鉱物による変成分帯解析を行った。

4. 研究成果

①超高压変成岩が発見された北部カガンバレー・ギッキダス周辺地域の詳細な地質図 (1/1000 スケール)、地質断面図及び構造地質図を作成した。

②調査ルート全域に亘り、系統的に採取した岩石試料 (254 試料) の岩石薄片を作成し、偏光顕微鏡観察を行いマトリックス鉱物を基にした変成履歴解析 (変成温度圧力経路) と変成分帯解析を行った。その結果、変成帯の下位から上位へ chlorite zone, biotite zone, garnet zone (6.5 ± 0.4 kbar, $420-478^\circ\text{C}$), staurolite zone (7.7 ± 0.6 kbar, $558-605^\circ\text{C}$), kyanite zone (13.7 ± 0.9 kbar, $658-700^\circ\text{C}$), sillimanite zone (6.5 ± 0.4 kbar, $670-732^\circ\text{C}$), eclogite zone (28.6 ± 0.4 kbar, $757-786^\circ\text{C}$) にそれぞれ分帯されることが明らかとなった。

③変成帯の大部分を構成する珪長質片麻岩、砂泥質片麻岩及びエクロジャイトから抽出したジルコンの包有物を顕微ラマン分光器を用いて鉱物同定を行った。その結果計 7 粒のコーズ石を発見した。しかし、ダイヤモンドを含む他の超高压変成鉱物の発見には至らなかった。そして透過像とカソード像からコーズ石を含む他の包有鉱物の微小構造を詳細に調べてみたところ、ジルコンのコア部とマントル部からは石英、白雲母、斜長石、アパタイトが確認され、全てのコーズ石はリム部にのみ認められた。

超高压変成岩を特徴づける鉱物がコーズ石のみに限定されることからヒマラヤ超高压変成帯の最高圧力深度は 95~120km の範囲であったと考えられる。さらに、コーズ石の出現地域はエクロジイト出現位置の近傍、層厚 100m 以内に限定されることから、超高压変成部と高压部との境界は断層関係で接している可能性があり、マントル下 95~120km の深部で超高压変成作用を被った変成岩類が薄いレイヤーとして上昇し、中下部地殻下 30~40km でヒマラヤ変成帯本体に貫入、合体定置したとの結論を得た。

以上の研究成果は、現在国内外の研究者らによって議論されている「超高压変成帯の領域と境界問題」について重要知見が得られたことを意味する。

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 5 件)

- ① Ota, T. & Kaneko, Y. (2010) Blueschists, eclogite, and subduction zone tectonics: Insights from a review of Late Miocene blueschists and eclogites, and related young high-pressure metamorphic rocks. *Gondwana Research*, 18, 167-188. (査読有り)
- ② Kaneko, Y., Maruyama, S., Kadarman, A., Ota, T., Ishikawa, M., Tujimori, J., Ishikawa, A., Okamoto, A. (2007) On-going orogeny in the outer-arc of Timor-Tanimbar region, eastern Indonesia. *Gondwana Research*. 11, 218-233. (査読有り)
- ③ Ishikawa, A., Kaneko, Y., Kadarman, A., Ota, T. (2007) Multiple generations of forearc mafic-ultramafic rocks in the Timor-Tanimbar ophiolite, eastern Indonesia. *Gondwana Research*, 11, 200-217. (査読有り)
- ④ Rehman H. U., Yamamoto, H., Kaneko Y., Kausar A. B., Murata, M., Ozawa, H. (2007) Thermobaric structure of the Himalayan Metamorphic Belt in Kaghan Valley, Pakistan. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 390-406. (査読有り)

[学会発表] (計 1 件)

- ① Kaneko Y. Ongoing collision-type orogeny in Timor-Tanimbar island chain, eastern Indonesia. 2010 Western Pacific Geophysical Meeting, 24-June-2010, Taipei, Taiwan. (招待講演)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

金子 慶之 (KANEKO YOSHIYUKI)