

学位論文の要旨

氏 名

Hafiz Ur Rehman

学位論文題目

パキスタンヒマラヤ, カーガンバレーの超高压エクロジヤイト
: その起源と変成過程

本論文は、ヒマラヤ変成帯の地質学的な研究成果について報告するものである。特に、沈み込んだ地殻物質の岩石学的、地球化学的、地球年代学的研究については詳細に記述している。ヒマラヤ変成帯は、低変成度の変成岩地帯であるレッサーヒマラヤ帯と高変成度の変成岩地帯であるハイヤーヒマラヤ結晶質岩類から構成されている。レッサーヒマラヤ帯と非変成の堆積岩類で構成されるサブ-ヒマラヤ地帯は、主境界衝上断層と呼ばれる構造的境界で区分される。レッサーヒマラヤ帯の北側は、主中央衝上断層によってハイヤーヒマラヤ結晶質岩類と区分される。ヒマラヤ山脈は東西方向に2500kmの長さに亘るが、本研究では、その中でもパキスタンのカーガンバレーを調査対象として選択した。その理由は、カーガンバレーでは、80km程度の範囲において、ヒマラヤ変成帯の全ての構造要素を含む断面を観察できるからである。さらに、この地域に深いレベルまで沈み込んだ大陸地殻物質が分布していることは、大陸同士の衝突と沈み込みに伴う変成作用、および地上への上昇過程を解明する上で大きな価値を有する。

第1章は、カーガンバレーに分布するヒマラヤ変成帯の地質についての概説である。主要なテクトニックユニットと地質構造については詳しく記述し、最後に本研究の目的を述べている。

第2章では、カーガンバレーにおける地質調査の成果について取扱い、岩石試料の選定、岩石の記載、および造岩鉱物の分析の重要性について述べている。

第3章では、鉱物の記載的特徴と化学組成に基づいて、カーガンバレーにおけるヒマラヤ変成帯の温度圧力構造を解明した。主要な岩石ユニットの変成作用の温度圧力条件を推定するために、広範な鉱物化学組成データを使用した。

第4章は、パンジャーラップ火山岩類に由来し、100km以深まで沈み込んだ玄武岩質変成岩（現在は超高压エクロジヤイト）の地球化学的研究について記述している。多数の全岩試料と分離操作した鉱物試料を溶解して分析し、エクロジヤイトの原岩の化学的特徴を明らかにした。さらに、火山活動とその後の沈み込みに伴う変成作用の間に起きた地殻物質・堆積物との混合作用の痕跡について検討した。主要元素、微量元素、および希土類元素の組成にもとづいてエクロジヤイトをグループIとグループIIに区分した。

第5章は、Sm-Nd同位体、およびLu-Hf同位体システムの解析結果について記述している。5つのエクロジャイト全岩試料（グループIから2つ、グループIIから3つ）と、これらのエクロジャイトから分離した16の鉱物試料（ざくろ石、単斜輝石、緑れん石、白雲母）を同位体分析用に選別して分析を行った。同位体比の測定値、および測定値から算出された数値は、エクロジャイトの原岩の玄武岩が大陸縁辺の浅部で形成されたことを示している。全岩試料の $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 同位体比と $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 同位体比は、それぞれ0.512796から0.512863、および0.282844から0.282909である。Nd同位体とHf同位体のイプシロン値は、それぞれ、3.08から5.00、および0.91から3.20である。岩石試料の不均質性と同位体非平衡のため、全岩の $^{147}\text{Sm}/^{144}\text{Nd}$ 比と $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ 比はアイソクロンを構成しないが、鉱物試料からは53 Maから38 Maのアイソクロンが得られる。全岩の $^{176}\text{Lu}/^{177}\text{Hf}$ 比と $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 比は 508 ± 65 Maのアイソクロンを構成し、鉱物の同位体比は54 Maから43 Maのアイソクロンを構成する。これらの結果から、ヒマラヤ山脈における沈み込みに関係する変成作用は、55Maから38 Maの間に起きたと考えられる。さらに、 $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$ と $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$ 同のイプシロン値は、地殻成分の混入、あるいは堆積物との混合作用が複数の異なる変成環境下で起きたことを示している。

第6章では、U-Pb法によるジルコンの年代測定について述べている。ジルコンのイオンマイクロプローブによるその場U-Pb同位体分析は、三つの異なるコンコーディア年代を与える。最も古い一致年代（ 267 ± 2.4 Ma）は、おそらく火山活動の始まりに相当する。次の一致年代（ 180.2 ± 5.3 Ma）は第二の火山活動、あるいは母岩とそれに貫入する火山岩との同化作用を示している。火山性貫入作用の最終段階の時期は、三つ目の一致年代（ 114 ± 6.4 ）に相当すると考えられる。イオンマイクロプローブによる、ジルコンのその場微量元素分析は、ジルコンに二つの世代があることを示す。第一世代のジルコンは年代が古く、部分的に累帯構造をもち、希土類元素と微量元素に富む。第二世代は希土類元素と微量元素含有量が小さく、そのU-Pb同位体比は一致年代を示さない。

第7章は、エクロジャイトから分離した5粒のざくろ石の酸素同位体組成について記述した。酸素同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ ）は二つの対照的グループに区別できる。標準海水で規格化したときに、グループIエクロジャイトのざくろ石は正の $\delta^{18}\text{O}$ 値（+1.33から+1.56‰）を示し、グループIIエクロジャイトのざくろ石は負の $\delta^{18}\text{O}$ 値（-2.71から-3.02‰）を示す。酸素同位体比のバリエーションは、(1)エクロジャイト相変成作用以前の海水-岩石相互作用、(2)沈み込みの際の地殻内流体との同位体交換、あるいは(3)超高压変成作用に伴う地殻-マントル相互作用によるものと解釈できる。

第8章では、エクロジャイトの地球化学的および地球年代学的分析結果を総合して、岩石の起源、堆積物由来成分との混合作用、同位体平衡・非平衡、後生的流体浸透の影響について評価した。岩石学的、地球化学的（主要成分、微量成分、希土類元素および同位体）成果にもとづいて、ヒマラヤの超高压エクロジャイトの起源と発達過程を議論し、広域地質構造モデルを構築した。

第9章は、本研究の結果を総括した。

論文審査の要旨

報告番号	理工研 第 262 号	氏 名	Hafiz Ur Rehman
審査委員	主 査	山本啓司	
	副 査	大木公彦	小林哲夫
<p>学位論文題目 The Ultrahigh-pressure Eclogites in Kaghan Valley, Pakistan Himalaya: Origin and Metamorphic Evolution (パキスタンヒマラヤ、カーガンバレーの超高压エクロジャイト：その起源と変成過程)</p> <p>審査要旨</p> <p>本論文は、ヒマラヤ変成帯の地質学的な研究成果について報告するものである。ヒマラヤ変成帯は、低変成度の変成岩地帯であるレッサーヒマラヤ帯と高変成度の変成岩地帯であるハイヤーヒマラヤ結晶質岩類から構成されている。ヒマラヤ山脈は東西方向に2500kmの長さに亘るが、本論文は、その中でもパキスタンのカーガンバレーを調査対象として選択している。その理由は、カーガンバレーでは、80km程度の範囲において、ヒマラヤ変成帯の全ての構造要素を含む断面を観察できることと、同地域からコーズ石を含む玄武岩質変成岩（超高压エクロジャイト）が産出するからである。</p> <p>第1章は、カーガンバレーに分布するヒマラヤ変成帯の地質についての概説である。主要なテクトニックユニットと地質構造については詳しく記述し、最後に本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章は、カーガンバレーにおける地質調査の結果、岩石試料の選定、岩石および鉱物の記載について述べている。</p> <p>第3章では、鉱物の記載の特徴と化学組成に基づいて、カーガンバレーにおけるヒマラヤ変成帯の温度圧力構造を解明している。</p> <p>第4章は、玄武岩質変成岩（エクロジャイト）の地球化学的研究について記述し、エクロジャイトをグループIとグループIIに区分している。</p> <p>第5章は、Sm-Nd同位体、およびLu-Hf同位体システムの解析結果について記述している。鉱物試料のSm-Nd同位体比から53 Maから38 Maのアイソクロンが得られている。Lu-Hf同位体比は54 Maから43 Maのアイソクロンを構成する。これらの結果から、ヒマラヤ山脈における沈み込みに関係する変成作用は、55Maから38 Maの間に起きたことを示している。さらに、これらの同位体比のイプシロン値は、変成作用に伴ってエクロジャイトに堆積物由来成分が混入したことを示している。</p> <p>第6章では、U-Pb法によるジルコンの年代測定について述べている。ジルコンのイオンマイクロプローブによるその場U-Pb同位体分析は、三つの異なるコンコーディア年代を与える。最も古い年代（267±2.4 Ma）は、おそらくエクロジャイトの起源である玄武岩質火成活動の始まりに相当する。次の年代（180.2±5.3 Ma）は第二期の火成活動があったことを示している。三つ目の年代（114±6.4）は、エクロジャイトの原岩を供給した火成活動の最終段階の時期に相当すると考えられる。</p> <p>第7章は、エクロジャイトから分離したざくろ石の酸素同位体組成について記述している。酸素同位体比（$\delta^{18}O$）は二つのグループに区別できる。標準海水で規格化したときに、グループIエクロジャイトのざくろ石は正の$\delta^{18}O$値を示し、グループIIエクロジャイトのざくろ石は負の$\delta^{18}O$値を示すので、グループIIエクロジャイトが変成作用に伴って軽い酸素同位体比を持つ水の影響を受けたと推察している。</p> <p>第8章では、エクロジャイトの地球化学的および地球年代学的分析結果を総合して、岩石の起源、堆積物由来成分との混合作用、同位体平衡・非平衡、後生的流体浸透の影響について評価している。岩石学的、地球化学的（主要成分、微量成分、希土類元素および同位体）分析にもとづいて、ヒマラヤの超高压エクロジャイトの起源と形成過程を議論し、新しいテクトニックモデルを構築している。</p> <p>第9章は、本研究の結果を総括して結論を述べている。</p> <p>以上本論文はヒマラヤ変成帯についての多数の重要な新知見を提供している。その成果は、大陸地殻の衝突現象を理解するために有用なものであり、高く評価できる。よって、審査委員会は博士（理学）の学位論文として合格と判定する。</p>			

最終試験結果の要旨

報告番号	理工研 第 262 号	氏 名	Hafiz Ur Rehman
審査委員	主 査	山本啓司	
	副 査	大木公彦	小林哲夫

平成19年2月2日、午後3時から行われた学位論文発表会において、審査委員を含む16名の前で学位論文の内容が説明され、その後、以下に示すような質疑応答が行われた。いずれについても満足すべき回答を得ることができた。

問：ジルコンの形とその年代の間になんらかの関連性があるか。

答：ジルコンの形態は、自形のものは火成作用起源で、不定形のものは変成作用起源であると考えられる。火成作用起源のものは発表したとおりの年代であるが、変成作用起源のものはウラン-鉛濃度が非常に低く、有意な年代値が得られなかった。

問：形態以外に、ジルコンの起源を区別する根拠があるか。

答：ジルコンの微量元素組成の分析結果から、微量元素に富むものは火成作用起源で、乏しいものは変成作用起源と考えられる。

問：固体試料である岩石や鉱物は、どのように処理して分析するのか。

答：全岩試料と分離した鉱物の主要元素については、融解・ガラス固化処理してX線蛍光分析を行った。微量元素は試料を強酸によって溶解して液体にし、プラズマ発光分光分析を行った。試料内部の元素分布や同位体比を知りたいときは、試料を鏡面研磨して真空中で試料面に粒子ビームを照射して蒸発させ、質量分析を行った。

問：エクロジャイトの起源としてホットスポットでの火山活動を想定していたが、その地域でホットスポットについて研究された例があるか。

答：エクロジャイトについての研究は、ほとんどが岩石学的記載に終始しており、ヒマラヤのエクロジャイトの起源である玄武岩を生じた火山活動について述べた文献は現時点ではない。

問：酸素同位体比の分析結果の意味をもう少し説明してほしい。

答：鉱物中の酸素が地球内部起源であれば酸素同位体比は平均海洋水よりも重く、鉱物が地表水の影響を受けると酸素同位体比が軽くなる傾向がある。この研究ではグループIIのエクロジャイトの酸素は地球内部起源であると考えられる。

その他に、地質構造に関することや、年代測定の方法などさまざまな質疑がなされたが、それらすべてに対しても的確な応答をしていた。以上のことから、本委員会は当人が博士後期課程の修了者としての学力ならびに見識を有するものと認め、博士（理学）の学位を与えるに足りる資格を有するものと認定した。