

氏名	こじま もえる 小島 萌
授与学位	博士(理学)
学位記番号	理工博甲653号
学位授与年月日	平成27年3月16日
学位授与の要件	学位規則第4条1項
研究科, 専攻の名称	理工学研究科(博士後期課程) 自然科学基盤系専攻
学位論文題目	2度のアセノスフェア上昇による日高大陸性地殻の発達: 日高変成帯における37 Maの火成岩類の成因 (Evolution of the Hidaka Continental Crust Induced by Dual Upwellings of Asthenosphere: Petrogenesis of the 37-Ma Igneous Rocks in the Hidaka Metamorphic Belt)
論文審査委員	主査 山口大学 教授 志村 俊 昭 山口大学 教授 大和田 正 明 山口大学 教授 今岡 照 喜 山口大学 教授 脇田 浩 二 山口大学 准教授 永 瀧 真 理 子

## 【学位論文内容の要旨】

日高変成帯は日高帯に分布する高温低圧型の変成帯で、大陸性地殻の断片が地表に露出した地質体である。近年おこなわれたジルコンU-Pb年代測定は、日高変成帯が37 Maと19 Maの二度の熱ピークを経て形成されたという新知見をもたらした。これは、従来広く受け入れられていた年代解釈、すなわち、55 Ma頃の一度の熱ピークにより日高変成帯が形成された、という解釈を否定するものであった。このような新知見をふまえ、日高変成帯の形成過程を再検討しなければならない。

19 Maの熱ピークは、日高下部地殻におけるN-MORB質苦鉄質マグマの定置とグラニュライト相変成作用が生じた時期として特徴づけられている。その地質学的な背景は、千島弧の背弧海盆であるオホーツク海盆の拡大に伴うと考えられている。すなわち、背弧海盆拡大に伴って上昇した高温のアセノスフェアが、既に重合していた日高地殻を再加熱した、という解釈である。一方、37 Maの活動は不明な点が多い。37 Maには、Iタイプ花崗岩マグマ、カルクアルカリ系列の斑れい岩～閃緑岩マグマ、堇青石含有Sタイプトータル岩マグマなどが活動し、日高中部～上部地殻へと貫入・定置している。ただし、これらの火成岩類の成因は再検討されておらず、火成活動と地質学的背景の関連も不明である。約40 Ma頃、北海道は古東北日本弧と古千島弧が衝突した時期と推定されている。37 Maの熱ピークは、この島弧-大陸衝突と同時ないしは直後に発生した可能性がある。

本研究では、37 Maの火成活動が発生した造構環境と、その火成活動を経た日高地殻の発達過程を検討した。研究対象は37 Maの火成岩体とし、それらの岩石成因論を検討した。それらは、札内川地域に分布する中部Iタイプトータル岩体と中部Sタイプトータル岩体、新冠川地域に分布する下部Iタイプトータル岩体、音調津地域の音調津深成岩体である。研究手法としては、火成岩類のトレーサーとして有効なSr・Nd同位体比組成を主に用いた。

中部Iタイプトータル岩は角閃岩相の砂泥質片麻岩中へ貫入し、貫入した際に壁岩の砂泥質変成岩類を多量に包有した。中部Iタイプトータル岩の周囲の砂泥質片麻岩は、Iタイプマグマの結晶化潜熱により700℃まで温度上昇した。その結果、砂泥質片麻岩は「その場で」部分融解し堇青石含有中部Sタイプトータル岩へと移化している。中部Iタイプトータル岩のSr・Nd同位体比初生値は砂泥質変成岩類の同化の影響を受け肥沃的な組成へと変化する傾向にある。中部Iタイプトータル岩の親マグマの同位体比組成は日高変成帯下部層の苦鉄質変成岩類の同位体比組成とは異なる。これは、中部Iタイプトータル岩マグマの起源物質が苦鉄質変成岩類ではないことを示す。

下部Iタイプトータル岩体は19 MaのSタイプトータル岩中にブロックとして包有される。下部Iタイプトータル岩の同位体比初生値は中部Iタイプトータル岩と類似する。このことは、Iタイプトータル岩類のマグマが同

様の起源物質から形成されたことを示唆する。

音調津深成岩類はかんらん石斑れい岩類・ノーライト～閃緑岩類・花崗閃緑岩類から構成され、角閃岩相低温部の砂泥質変成岩中に貫入する。かんらん石斑れい岩、ノーライトからはジルコン U-Pb 年代で  $38.2 \pm 0.6$  Ma,  $36.7 \pm 1.0$  Ma がそれぞれ得られた。同位体比組成や微量元素組成からは、かんらん石斑れい岩が N-MORB としての特徴を示すことが明らかとなった。一方、ノーライト～閃緑岩類・花崗閃緑岩類はより肥沃的な同位体比組成を示す。また、ノーライト～閃緑岩類の同位体比組成は、I タイプトータル岩類の同位体比組成と類似する。このことから、ノーライト類は I タイプトータル岩類の起源マグマとなり得る。

以上から、37 Ma の火成活動は以下のように特徴づけられる。(1) N-MORB 質起源マグマの活動 (2) N-MORB 質マグマと砂泥質地殻物質との混合によるノーライト～閃緑岩マグマの生成 (3) ノーライト～閃緑岩マグマの結晶分化による I タイプトータル岩マグマの形成 (4) 中部 I タイプトータル岩マグマの接触変成作用による中部 S タイプトータル岩マグマの発生。

37 Ma の火成活動は 19 Ma と同様に N-MORB 質マグマの活動によりもたらされたことが明らかとなった。このことは、日高地殻の発達に複数回のアセノスフェア（枯渇マントル）上昇が関与していることを示す。37 Ma にアセノスフェアが上昇する要因としては、古東北日本弧と古千島弧の間に存在した海洋プレートのスラブが、マントル下部へ切り離されたことが挙げられる。これは、火成活動に先んじた島弧-大陸衝突を起因として発生したものと考えられる。

一方、19 Ma の火成活動は背弧海盆の拡大時期に発生している。背弧海盆玄武岩の同位体比組成と微量元素組成は、N-MORB よりも肥沃的である。このことから、背弧海盆アセノスフェアは、N-MORB をもたらした枯渇マントルではなかったと考えられる。19 Ma の N-MORB は、37 Ma のアセノスフェア上昇で日高地殻下部に定置した枯渇マントルが、そのまま残存し、背弧海盆アセノスフェアにより加熱されたことで発生したと考えられる。

日高変成帯の大陸性地殻は、2 度のアセノスフェア上昇を経て発達したと考えられる。特に、37 Ma のアセノスフェア上昇は、島弧-大陸衝突によりもたらされた非定常的な活動であったであろう。

## 【論文審査結果の要旨】

北海道中軸部に分布する日高変成帯は、グラニュライト相に至る変成岩や、多様な深成岩が分布する高温低圧型の広域変成帯である。1980年代以降の研究により、北海道の東側の地殻が地表に露出した、地殻衝上断片であることが明らかにされている。したがって日高変成帯では、地殻変成岩層やマグマだまりの断面を、地表で直接観察する事が出来る。大陸性地殻の構造や形成過程を研究する上で世界的にみても貴重な地域となっている。

1990年代以降、この「日高地殻」は55Ma の1回の火成・変成作用で地殻が形成されたと考えられてきた。しかし、2007年以降のジルコン年代学の進歩により、日高変成帯には37Ma と19Ma の2回の熱イベントがあったことが判明した。これは1回のイベントで形成されたとする従来の考えを否定するとともに、37Ma の花崗岩類が地殻融解により形成されたのではない事をも意味するものであった。本研究は、このような最近の新知見により見直しが必要になった37Ma の熱イベントについて、火成岩類の同位体岩石学的研究に基づいて解明を試みたものである。

本研究は、37Ma の火成岩体の典型例として、日高変成帯内の2地域の研究を行い、その比較検討により37Ma のイベントの全体像を把握する、という方針で研究を進めたものである。その2地域は、(1) 日高変成帯中部の、札内川上流地域に分布する37Ma の「中部トータル岩体」と、(2) 日高変成帯南部の、音調津地域に分布する37Ma の斑れい岩～花崗岩などからなる「音調津深成岩体」、である。主な研究手法としては、火成岩類のトレーサーとして有効な Sr・Nd 同位体比組成を用いている。

本研究ではまず、野外地質調査に基づき、2地域の詳細なルートマップや地質図を作成し、変成岩・火成岩の分布と産状を明らかにしている。さらに自身が野外調査で採取した岩石試料について、岩石記載・全岩化学分析・同位体分析・鉱物化学組成分析・絶対年代測定などを行っている。

札内川地域には、中部 I タイプトータル岩は角閃岩相の砂泥質片麻岩中へ貫入し、貫入した際に壁岩の砂泥質変成岩類を多量に包有している。中部 I タイプトータル岩の周囲の砂泥質片麻岩は、I タイプマグマの結晶化潜熱により700℃まで温度上昇した。その結果、砂泥質片麻岩は「その場で」部分融解し堇青石含有中部 S タイプトータル岩へと移化している。中部 I タイプトータル岩の Sr・Nd 同位体比初生値は砂泥質変

成岩類の同化の影響を受け肥沃的な組成へと変化する傾向にある。中部 I タイプトータル岩の親マグマの同位体比組成は日高変成帯下部層の苦鉄質変成岩類の同位体比組成とは異なる。これらの解析結果から、中部トータル岩マグマの起源物質は、現在日高変成帯に見られるグラニュライト相変成岩類ではないことを解明した。そして、その親マグマはマントル物質に求められるべきであるとの結論に至った。

札内川地域には、斑れい岩などの、より苦鉄質の火成岩体は分布していない。そこで、同時代のマントル物質を解明するために、音調津地域の火成岩類を検討した。音調津深成岩類はかんらん石斑れい岩類・ノーライト～閃緑岩類・花崗閃緑岩類から構成され、角閃岩相低温部の砂泥質変成岩中に貫入している。これらの各種深成岩類について、レーザーアブレーション ICPMS により、ジルコン U-Pb 年代の測定をおこなった。かんらん石斑れい岩・ノーライトからはジルコン U-Pb 年代で  $38.2 \pm 0.6$  Ma、 $36.7 \pm 1.0$  Ma がそれぞれ得られた。同位体比組成や微量元素組成からは、かんらん石斑れい岩が N-MORB としての特徴を示すことが明らかとなった。一方、ノーライト～閃緑岩類・花崗閃緑岩類はより肥沃的な同位体比組成を示す。また、ノーライト～閃緑岩類の同位体比組成は、I タイプトータル岩類の同位体比組成と類似する。このことから、ノーライト類は I タイプトータル岩類の起源マグマとなり得ることが明らかになった。

本研究により、日高変成帯の 37 Ma の火成活動は以下のように整理された。

- (1) N-MORB 質起源マグマの活動。
- (2) N-MORB 質マグマと砂泥質地殻物質との混合によるノーライト～閃緑岩マグマの生成。
- (3) ノーライト～閃緑岩マグマの結晶分化による I タイプトータル岩マグマの形成。
- (4) 中部 I タイプトータル岩マグマの接触変成作用による中部 S タイプトータル岩マグマの発生。

したがって、37 Ma の火成活動は 19 Ma と同様に N-MORB 質マグマの活動によりもたらされたことが明らかとなった。このことは、日高地殻の発達に複数回のアセノスフェア（枯渇マントル）上昇が関与していることを示している。37 Ma にアセノスフェアが上昇した要因として、古東北日本弧と古千島弧の間に存在した海洋プレートのスラブが、マントル下部へ切り離されたというアイデアが提唱された。これは、火成活動に先じた大陸-島弧衝突を起因として発生したらしい。

一方、19 Ma の火成活動は背弧海盆の拡大時期に発生している。背弧海盆玄武岩の同位体比組成と微量元素組成は N-MORB よりも肥沃的である。このことから、背弧海盆アセノスフェアが N-MORB をもたらした枯渇マントルではなかったと考えられた。19 Ma の N-MORB は、37 Ma のアセノスフェア上昇で日高地殻下部に定置した枯渇マントルが、そのまま残存し、背弧海盆アセノスフェアにより加熱されたことで発生したと考えられた。

以上の検討から、本研究は、日高変成帯の大陸性地殻は、2 度のアセノスフェア上昇を経て発達した事を明らかにした。特に、37 Ma のアセノスフェア上昇は、島弧-大陸衝突によりもたらされた、突発的で非定常的な活動であったことがわかった。

公聴会は 2015 年 2 月 10 日の午後 1 時から、山口大学人文学部小講義室において実施され、約 30 名が聴講した。公聴会における主な質問内容は、37Ma の火成岩が貫入した際の地殻の温度構造に関する事項、島弧の衝突後にスラブが切り離されるまでに約 3My 程度の時間間隙がある理由、後に 15Ma に活動したトロニウム岩マグマの成因と衝突テクトニクスとの関係、などについてであった。いずれの質問に対しても、自身の研究に基づいて的確な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、新規性、信頼性、完成度ともに優れ、日高変成帯の形成史のみならず、島弧・大陸地殻の進化過程に対し斬新なモデルを提唱した優れた内容であり、博士（理学）の論文に十分に値すると判断した。

論文内容および審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである。（関連論文 計 2 編、参考論文 計 1 編）

1) 小島 萌・志村俊昭, 日高変成帯, 札内川七ノ沢における I タイプ・S タイプトータル岩マグマの起源: Sr・Nd 同位体比からの検討. 地質学雑誌, 120, 393-412, 2014.

2) Shimura, T., Nagakubo, E., Kemp, A. I. S., Kojima, M. and Inaba, Y., TTG magma genesis by the collision tectonics between Kuril Arc and NE Japan Arc. In: Geological Processes in the Lithospheric Plates Subduction, Collision, and Slide Environments. Russian Academy of Sciences Far

Eastern Branch Far East Geological Institute. 59-61, 2011.

3) 志村俊昭・小島 萌, エクセルVBAによるポイントカウント・アプリケーション. 情報地質, 26, 2015 (印刷中) .