

令和 2 年 6 月 15 日現在

機関番号：24402

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14419

研究課題名（和文）停滞スラブ上火成活動の成因の解明

研究課題名（英文）Revealing the petrogenesis of igneous activities above a stagnant slab

研究代表者

柵山 徹也（Sakuyama, Tetsuya）

大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：80553081

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）：西南日本（近畿，中国，北西九州），中国東部および東北部，日本海の海山から合計約300個の，新生代後期以降に噴出した玄武岩試料を採取し，全岩化学組成分析（主成分，微量成分，同位体比），一部の試料については斑晶化学組成分析および斑晶中のメルト包有物組成分析を行った．各火山において，岩石学的手法を用いてマグマ含水量を推定し，マントル融解条件を推定したところ，ほとんどの火山下のマントルは，中央海嶺下と同程度の温度であったことがわかった．一方，微量元素組成からは，流体の寄与が示唆されることから，多くの背弧火山の起源として，マントル遷移層に停滞する太平洋スラブからの流体の寄与があると考えられる．

研究成果の学術的意義や社会的意義

ユーラシア大陸東縁部に噴出した背弧域火山の起源として，従来は高温かつ水に富むマントルの上昇流が考えられてきた．一方，この10年で，マントル上昇流は高温ではなく，水に富む組成不均質によるという考えが提案されるようになってきたが，研究対象が限られており，西南日本，日本海，中国にいたる広い範囲で同様のモデルが適用できるか不明であった．本研究では，広域的に試料を採取し，岩石学的にマントル融解条件を推定した．その結果，広域的に見ても当該地域下の上部マントルは高温ではないことが明らかになり，含水マントルモデルがより広く適用できる可能性を示した．

研究成果の概要（英文）：Petrological and geochemical investigation has been conducted on the late Cenozoic basaltic samples taken from the southwestern Japan, the eastern and northeastern China, and the seamount in the Japan Sea. Estimated melting temperature and pressure for each volcano under hydrous condition suggests that the potential mantle temperature of the upper mantle beneath the eastern margin of the Eurasian continent is as high as that beneath mid-ocean ridges. Enrichment of fluid-mobile trace elements as well as hydrous nature of the estimated primary magmas for the studied samples suggests that the magmatism is originated not in the high-temperature upwelling but in the upwelling of the hydrous mantle probably from the mantle transition zone above the stagnant Pacific slab.

研究分野：火成岩岩石学

キーワード：背弧域火成活動 アルカリ玄武岩 停滞スラブ 上部マントル 流体

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

背弧域は一般的に以下のような特徴を有することが知られている(e.g., Currie & Hyndman, 2006). 1)高い地殻熱流量(70mW/m²),2)上部マントル一帯に広がる地震波低速度領域,3)クラトンに較べて明瞭に高い地温勾配(かんらん岩ゼノリスによる制約),4)散発的・長期的かつ広域的な玄武岩火山活動。これらは背弧域上部マントルに特有の熱物質輸送プロセスが存在する可能性を示唆しているが、背弧域マントルにおける熱・物質輸送プロセスの時間・空間スケールはまだ解明されていなかった。

近年の研究で、中国東部から西南日本にいたる超背弧域～背弧域の火山活動の成因と、マントル内での物質移動の様子が徐々に明らかになってきた(e.g., Kuritani et al., 2011; Sakuyama et al., 2013, 2014)。これらの研究により、マントル遷移層付近に停滞している太平洋スラブ由来の、沈み込んだ海洋地殻や堆積物、堆積物由来の流体を含んだ物質の上昇が、当該地域の火山活動の成因になっていることが、岩石学的・地球化学的に示された。さらに、物理的にも停滞スラブ由来の上昇流が存在しうることが、最近の数値シミュレーションの結果からも支持される結果となっている(Richard & Bercovici, 2009; Motoki & Ballmer, 2015)。

一方、マントルの温度を定量的に見積もるのに研究対象とされた火山は、北西九州や中国・韓国の一部の火山のみであった。残りの8割以上の火山については、詳細な岩石学的検討が行われておらず、モデルの検証のためにも、対象とする火山を増やす必要があった。

2. 本研究の目的

新生代後期火山岩の化学組成の空間変化から、ユーラシア大陸東縁部背弧域～超背弧域上部マントル内の熱・物質輸送過程を解明することを目的として、主に玄武岩質火山岩の全岩分析および同所分析から、岩石学的にマントルの温度・含水量分布を推定することを目的とした。そしてテクトニクス、マントルの地球物理学的(地震波速度構造・電気伝導度構造)情報と対比することで、背弧域～超背弧域の火山活動が、上部マントルの太平洋スラブやフィリピン海スラブから受けている熱・物質的な影響を明らかにすることを目指した。

3. 研究の方法

(1)ユーラシア東縁部火山全体(中国東部および東北部、西南日本)を網羅するよう選択した火山に対して詳細な岩石学的検討(結晶分別過程、マグマ混合、地殻混入の可能性の検証)および地球化学的検討を行った。その上で、初生メルト組成(含水量、微量元素、放射性同位体も含む)を推定した。

(2)比較的若い約1000万年前以降に噴出した玄武岩に対して、マントル融解条件を岩石学的手法により推定し、マントルの温度・含水量・地球化学的特徴の広域的变化を解明した。

(3)その結果をテクトニクス、地球物理構造(地震波速度構造、電気伝導度構造)と比較検討し、最適なモデルを構築した。

研究対象は、西南日本、中国東北部および中国東部の、新第三紀～第四紀火山から噴出した玄武岩試料とした。方法・手順は、(1)調査・サンプリング、(2)岩石記載・薄片観察、(3)全岩及び鉱物の主要元素分析(電子線マイクロプローブアナライザ(EPMA)、蛍光X線分析装置(XRF))、全岩微量元素分析(誘導結合プラズマ質量分析装置(ICP-MS))、Sr-Nd-Pb-Hf同位体分析(表面電離型質量分析装置(TIMMS)、ICP-MS)、(4)各地域におけるマグマプロセス・融解条件の推定、である。

4. 研究成果

(1)西南日本

神鍋火山(兵庫県)

神鍋単成火山群から採取した50試料を用いて、薄片観察・化学分析をすることにより初生マグマの生成過程の解明を試みた。分析は薄片の観察と斑晶モード測定、EPMAによる斑晶鉱物化学組成分析、XRFによる全岩化学組成(主成分元素)分析、海洋研究開発機構(JAMSTEC)設置のTIMMSおよびICP-MSによる全岩微量元素、同位体比分析を行った。これらの分析結果をもとに、マグマ溜まり内での分化プロセスを検討し、Putirka(2008)のマグマ含水量計を用いてマグマ溜まりでのマグマ含水量を推定した。そして、初生メルト組成と生成条件の推定、起源物質の検討を行った。その結果、初生マグマ含水量は約1.5 wt%、含水下におけるマントル融解条件は約2.0 GPa、約1390と見積もられた。この領域は、地震波トモグラフィーにより明らかにされている、太平洋スラブ状から上昇しているとされる低速度異常域の上端にあたり、神鍋火山の起源がフィリピン海スラブではなくより深部の太平洋スラブにあることを示唆する。また全岩Sr-Nd-Pb同位体比を測定したところ、太平洋スラブ堆積物由来の流体の寄与を示し、上記のモデルを支持する結果であった。

女亀山(広島県)

現地から採取した26試料を用いて、顕微鏡観察、モード測定、XRFによる全岩化学組成分析、EPMAによる斑晶鉱物化学組成分析を行った。そして斑晶の化学組成から、

斑晶が晶出した際の温度条件や含水量などマグマの生成に関する情報を得ることができた。まず、女亀山の玄武岩中には Fo 値が極めて高い (Fo# (100 × 100Mg/(Mg+Fe²⁺))) 90) かんらん石斑晶が多数存在することが分かった。全岩化学組成をメルト組成とみなせないため、平衡でないと考えられるかんらん石を計算で取り除いて、メルト組成を推定した。メルト組成と斜長石斑晶組成を用いて、マグマ溜まりにおけるマグマ含水量及び温度の推定を行った (Putirka, 2008)。その結果、斜長石斑晶を含む晩期玄武岩の含水量は約 0.5 wt%、約 1200 と見積もられた。次に、含水量を含めた初生メルト組成の推定を行い、かんらん岩融解実験との比較により融解温度・圧力条件を推定したところ、融解条件は約 1.3 GPa、約 1300 の融解圧力・温度と見積もられ、マントルポテンシャル温度としては、中央海嶺下と同程度の低さであった。

横田火山 (島根県)

横田単成火山群の拡がり網を網羅する 11 地域から 21 試料を採取し、岩石記載、XRF による全岩化学組成分析、EPMA による斑晶鉱物化学組成分析を行った。その結果に基づき、地殻同化、結晶分別およびマントルの部分溶融による元素の挙動を検討し、横田地域におけるアルカリ玄武岩質マグマの生成過程について検証した。本研究で採取した横田単成火山群の玄武岩試料も全岩 MgO 量が 9 wt% を超える岩石を多数含み、非常に未分化に近い組成を有する。一連の火山活動の地理的中心と考えられる噴出時期の最も古い地域から離れるに従い、FeO*/MgO や Rb/Y は増加し、Nb/Y、La/Y、Ce/Y、Sr/Y、Zr/Y は減少するという空間変化が存在することが新たにわかった。これらの元素比の空間変化は、活動中心である中津谷岩体から距離が離れるにつれて、マントルの部分溶融度が上昇しながら生成したメルトが噴出していったと考えることができる。マントルダイアピルが部分溶融しながら上昇し、リソスフェア底面に到達した後に、水平方向に広がっていったことで説明できる。

黒岩高原 (岡山県)

黒岩高原とその周辺地域におけるマグマの生成過程を明らかにすることを目的とし、現地調査により採集した岩石 20 試料の XRF による全岩化学組成分析、EPMA による斑晶化学組成分析結果に基づいて、地殻同化及び結晶分別作用の可能性を検証した。また、初生的マントルが平衡溶融した際の、部分融解度の変化に伴う微量元素比の挙動と比較し、マントル部分融解度の違いで黒岩高原玄武岩の化学組成変化を説明できるか検証した。その結果、本玄武岩の初生マグマは複数存在することがわかった。また、初生的マントルが平衡溶融した際の、部分融解度の変化に伴う微量元素比の挙動と、本玄武岩試料組成を比較したところ、黒岩高原玄武岩は噴出時期が古いものから新しいものになるにつれて部分融解度が上昇したと考えられることがわかった。このことから、部分融解度の変化の原因を解明する必要があることがわかった。

五島列島福江島 (長崎県)

福江島沖の赤島に産する玄武岩試料について、XRF による全岩化学組成分析、EPMA による斑晶化学組成分析、ICP-MS による全岩微量元素および同位体比組成分析を行った。岩石学的に推定したマグマ含水量は約 2 wt% であった。かんらん石最大分別モデルを用いて推定した初生メルト組成とかんらん岩融解実験を比較してマントル融解条件を推定した。その結果、融解圧力は 1.8 - 2.5 GPa、融解温度は 1280 - 1350 となり、マントルポテンシャル温度は 1300 程度であった。これは中央海嶺下と同程度の低さであり、赤島下でもマントルの融解はスラブからの流体の付与により起こったと考えられる。

(2) 日本海

清風海山

ドレッジにより日本海海底から採取された清風海山の玄武岩試料から、分析に適した 62 試料を抽出し、それらに対して XRF による全岩主成分化学組成分析、ICP-MS による全岩微量元素組成および全岩 Sr-Nd-Pb 同位体比分析、EPMA による斑晶鉱物化学組成分析を行った。まず、斜長石-メルト含水量計 (Putirka, 2008) を用いてマグマ含水量を推定したところ約 5.5 wt% と高く、東北日本の沈み込み帯火山における推定 (約 6wt%: Ushioda et al., 2014) と同程度であることが新たにわかった。次に、かんらん石最大分別モデル (Tatsumi et al., 1983) もしくは、かんらん石・単斜輝石分別モデルの 2 種類を仮定し、初生マグマ組成を推定した。そして、推定された初生マグマ組成をかんらん岩融解実験結果と比較することで、マグマ生成条件を推定した。その結果、含水条件下でのマントルの融解温度圧力は、約 1300、約 2.0 GPa と、中央海嶺下マントルと同程度であり、特に高温条件で融解したわけではなかったことが明らかになった。流体移動の影響を受けにくく、マントルの部分融解度の違いで変化する微量元素 (Nb, Ta, Zr, Y) に着目し、起源マントルの微量元素組成および部分融解度を推

定した．その結果推定された起源マントル組成は，韓国 Chugaryeong や中国東北部 Changbai で推定される起源マントルと類似した組成であった．これらの火山では，そのマグマの起源として，マントル遷移層からの含水ブリュームの上昇，もしくはマントル遷移層からの流体の付与による上部マントルの融解モデルが提案されている．本研究結果から，清風海山玄武岩マグマの生成も同様の過程で形成したと考えられるが，より海溝に近いことから，より水の供給が多かったと考えられる．

(3) 中国

南京玄武岩

マントル遷移層に停滞する太平洋スラブ西端の上部に位置する南京市周辺域にある女山，亀山，六合方山，霊岩山，練山，平山，南京方山といった，新第三紀～第四紀火山から採取したアルカリ玄武岩を分析することで，この地域の火山活動の成因を考察した．XRFによる全岩化学組成分析とEPMAによる斑晶化学組成分析を行った．これらの玄武岩試料に含まれるかんらん石斑晶はFo値(= $100 \times \text{Mg} / (\text{Mg} + \text{Fe}^{2+})_{\text{mol}}$)に対するNiO含有量(wt%)が，上部マントルに存在するかんらん岩の部分融解メルトからの結晶化では説明がつかない程高い値を有することがわかった．これらのことから，南京市周辺域の玄武岩マグマの初生メルトはかんらん岩由来ではなく，輝石岩由来であることを示唆している．中国東部では，沈み込んだ太平洋スラブ由来のハルツパーガイトブリュームに海洋地殻玄武岩が取り込まれて上昇し，火山を形成するというモデルが，山東半島の特殊な組成の玄武岩火山に対して提案されているが(Sakuyama et al., 2013)，南京周辺の火山岩も同様のモデルで説明できることがわかった．

五大連池周辺

中国北東部の五大連池市周辺域に噴出したアルカリ玄武岩～玄武岩質安山岩に含まれるかんらん石斑晶中のメルト包有物を対象に化学分析を行うことで，これらのマグマが含んでいた揮発性成分を直接分析し，深部のマントルが含んでいる水以外の揮発性成分も含めた水流体組成を推定した．中国北東部五大連池市，またその周辺域の黒河市，チチハル市から新生代中新世(9.6 - 7.0 Ma)，更新世(0.56 - 0.13 Ma)，18世紀(1719 - 1721年)に噴出したとされる(Zhang et al., 1995)アルカリ玄武岩～玄武岩質安山岩を47試料採取し，XRFによる全岩化学組成分析をした後，これらの試料から発泡度が非常に高い試料を抽出し，メルト包有物を含むかんらん石斑晶を分離した．それらをShimizu et al. (2017)の方法に従ってメルト包有物の表面が出るまで研磨した後，2次イオン質量分析装置で揮発性成分濃度(H₂O, CO₂, S, Cl, F)の測定を行った．その後，EPMAを用いてメルト包有物とホストのかんらん石の主成分元素組成の測定を行った．五大連池市周辺域のメルト包有物が保有する揮発性成分量は，通常の上部マントルに含まれている揮発成分量に比べて非常に高いことが新たにわかった．そこで，五大連池市周辺域の玄武岩の初生メルトの化学組成を推定し，Sakuyama et al. (2014)の方法に従って全岩微量元素組成より起源マントル組成と部分融解度の計算を行った．その結果，五大連池市周辺域の部分融解度は約9%と推定された．これらの値からマントル遷移層由来の含水ブリュームにおける揮発性成分量を推定したところ，五大連池市周辺域下のマントル遷移層には水に富んでいるだけでなく，フッ素と塩素についても非常に富んでいることが明らかとなった．

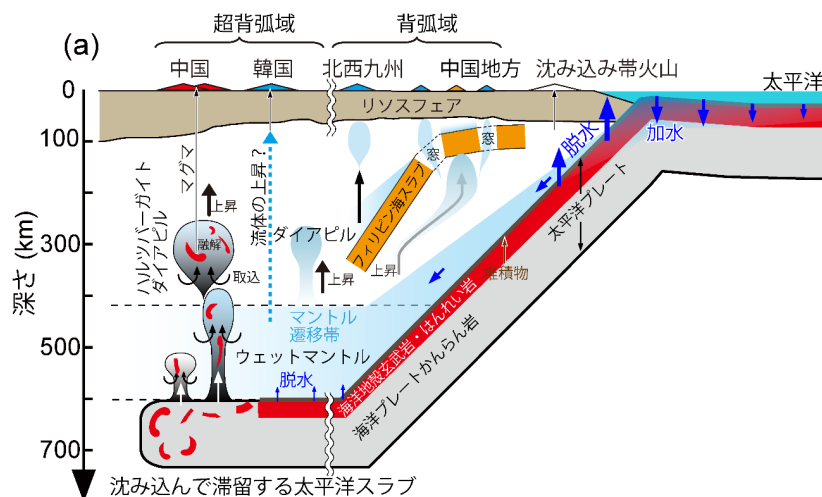


図 沈み込む海洋スラブと背弧・超背弧域火山活動を説明する上部マントルモデル

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高橋峻, 柵山徹也, 木村純一	4. 巻 40
2. 論文標題 神鍋火山におけるアルカリ玄武岩のマグマ含水量と初生メルと生成条件の推定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 月刊地球	6. 最初と最後の頁 242-246
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18940/vsj.2017.0_18	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takeshi Kuritani, Tetsuya Sakuyama, Natsumi Kamada, Tetsuya Yokoyama, Mitsuhiro Nakagawa	4. 巻 282-283
2. 論文標題 Fluid-fluxed melting of mantle versus decompression melting of hydrous mantle plume as the cause of intraplate magmatism over a stagnant slab: Implications from Fukue Volcano Group, SW Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 98-110
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2017.02.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Jun-Ichi Kimura, Tetsuya Sakuyama, Takashi Miyazaki, Bogdan S. Vaglarov, Yoshio Fukao, Robert J. Stern	4. 巻 300-301
2. 論文標題 Plume-stagnant slab-lithosphere interactions: Origin of the late Cenozoic intra-plate basalts on the East Eurasia margin	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 227-249
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2017.12.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計12件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 柵山徹也, 前田奏絵, 長谷川祐太
2. 発表標題 中国地方・女亀山玄武岩マグマの生成過程の解明
3. 学会等名 日本火山学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 足立勝美, 柵山徹也, 石井輝秋
2. 発表標題 清風海山玄武岩質マグマの融解条件
3. 学会等名 日本火山学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 峻、柵山 徹也、木村 純一
2. 発表標題 Generation process of alkaline basalt magma: a case study of the Kannabe monogenetic volcano
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuma Hayashi, Tetsuya Sakuyama
2. 発表標題 Origin of alkaline basalt volcanism in Nanjing area, eastern China
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Katsumi Adachi, Tetsuya Sakuyama, Teruaki Ishii
2. 発表標題 Differentiation and generation processes of alkaline basalts from Seifu Seamount in the Japan Sea
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高橋 峻、柵山 徹也、木村 純一
2. 発表標題 神鍋火山のアルカリ玄武岩マグマ含水量の推定
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2017年大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高橋峻，柵山徹也，木村純一
2. 発表標題 神鍋火山のアルカリ玄武岩マグマ含水量の推定・女亀山との比較
3. 学会等名 日本火山学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 荒木亮太郎，柵山徹也
2. 発表標題 北西九州、北松浦玄武岩にある100m厚の玄武岩質溶岩の形成過程
3. 学会等名 日本火山学会 2019年度 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 荒木亮太郎，柵山徹也
2. 発表標題 北西九州、北松浦玄武岩にある100m厚の玄武岩質溶岩の形成過程
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清風海山玄武岩の岩石学的・地球化学的特徴
2. 発表標題 足立勝美, 柵山徹也, 石井輝秋, 栗谷豪, 中川光弘
3. 学会等名 日本火山学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林裕馬, 柵山徹也, 清水健二, 牛久保孝之
2. 発表標題 中国北東部五大連池市周辺域の新生代アルカリ玄武岩に含まれるメルト包有物の地球科学的特徴
3. 学会等名 日本火山学会 2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Sakuyama, Kenji Shimizu, Takayuki Ushikubo, Takeshi Hanyu, Jun-Ichi Kimura, Wei Tian
2. 発表標題 The geochemical characteristics of melt inclusions hosted olivine phenocrysts in Quaternary potassic basalts around Wudalianchi area, NE China
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

大阪市立大学理学部地球学科地球物質学II研究室HP
<http://www.sci.osaka-cu.ac.jp/geos/geo2/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----