

令和 2 年 5 月 30 日現在

機関番号：11501

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05701

研究課題名(和文) 活性化する蔵王山：浅部マグマ溜りの詳細構造と噴火に至るタイムスケールの解明

研究課題名(英文) The active volcano Mt. Zao: Study of shallow magma chamber structure and the time scales of magma chamber processes for the eruption

研究代表者

伴 雅雄 (Masao, Ban)

山形大学・理学部・教授

研究者番号：50208724

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)：蔵王山最新の五色岳を構成する噴出物について物質科学的研究を行い以下の成果を得た。(1) 全岩、鉱物化学組成分析、及び斑晶鉱物の組織解析のデータを解析することによって、噴火に直接関係する浅部マグマ溜りは地下約6kmの深さに存在しており、またかなり不均質であったことが判明した。(2) 累帯構造を基に直方輝石を分類し、注入から噴火に至る滞留時間を求めたところ、噴火に直結しない注入は噴火のおよそ50年前まで遡ること、噴火に直結する注入は数年以内であったことが判明した。(3) Sr同位体組成を含む全岩化学分析の結果、御釜を火口とする噴出物はそれ以前とは起源が異なることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

浅部マグマ溜りの詳細構造と噴火に至るタイムスケール解明を、噴出物の組織解析と各種化学組成分析を組み合わせを行ったことが特色であり意義が深いと考えられる。また、噴火が危ぶまれる火山について、噴火以前に物質科学的解析を行い、観測から得られる情報と融合させてその火山の状態把握と今後の推移について予測しようとする試みは学際的な貢献という点で意義があると考えられる。

本研究によって浅部マグマ溜りの詳細構造や噴火に至るタイムスケール及び地下で進行している現象もある程度推定された。これは現在火山研究で喫緊に行うべきと社会から要請されている噴火予測や噴火発生場の解明に関して大きな貢献となったと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We performed petrologic study on eruption products of the Goshikitake, the newest edifice of Zao volcano, and obtained following results. (1) By examining whole rock and mineral chemistry, couple with mineral texture, we revealed the shallow magma chamber located ca. 6 km depth and was rather heterogeneous. (2) The diffusion calculations based on chemical zoning of orthopyroxene phenocrysts indicated that the longest residence time of the phenocrysts in the chamber after the injection of deeper mafic magmas was more than ca. 50 years and most frequently one was less than several years. (3) Sr isotopic analyses revealed eruption products from Okama crater has different origin from the other eruption products of Goshikidake.

研究分野：火山学

キーワード：マグマ供給系 マグマ混合 滞留時間 タイムスケール 累帯構造 Sr同位体比 蔵王山 噴火予測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

災害を引き起こす噴火が頻発している状況の中、噴火が危ぶまれる火山について予測を行うことは重要である。噴出物の物質科学的研究はその予測に大きな貢献をできる段階に発展してきている。

活火山の噴火推移及びマグマ供給系の状態変化を明らかにし、今後の活動を予測しようとする研究は1990年頃から行われ始めたが、特に2000年頃になって、分析を迅速に行うことが可能になり、噴出物からマグマ溜りを読み解く物質科学的研究も格段に進歩し、最近では、噴火をもたらしたマグマ供給系の構成、噴火に至るプロセスやタイムスケールが精度良く推定されるようになってきた。また、最近噴火を起こした火山では、物質科学的推定と地球物理学的観測結果を合わせてマグマ供給系の構造と噴火に至るプロセスやタイムスケールが推定され、その後の噴火推移予測に極めて有用な情報になっている。

2. 研究の目的

蔵王山では、火山活動の活性化が見られ噴火が危ぶまれている。蔵王山は、火口が現在の御釜に移って以来、噴火を繰り返しているが、100年を超える休止期はこれまでになく、最新の西暦1895年噴火から120年以上経過している現在、近い将来の噴火の可能性は高い。

本研究では、過去の噴火履歴に基づいて採取した噴出物を物質科学的に分析、解析することにより、浅部マグマ供給系の構造を詳細に解明し、また噴火に至るタイムスケールを推定し、さらに浅部低温マグマの成因についても検討することを目的とする。このような地球物質科学的解析結果は今後の火山活動推移予測に極めて有用な基礎情報となる。

3. 研究の方法

(1) 噴火史の精密化と系統的試料採取

本研究では、蔵王山の最新の噴出物である五色岳火砕岩類を対象とする。五色岳火砕岩類は、蔵王山の最新山体である五色岳(約2千年前～)を構成している噴出物である。五色岳の西部に現在の火口である御釜が存在している。その南東に隣接して御釜のひとつ前に形成された火口(旧火口と称す)が存在する。

これまでの調査によって、五色岳火砕岩類は、休止期を示す不整合面などを基に、5つのユニットに細分されている。このうちユニット4, 5は御釜火口から、ユニット3は旧火口を噴出中心としたことが解明されている。また、ユニット4はさらに5つに細分されている。

一方で、申請代表者らのテフラ層序の研究により、13世紀初めに火口が御釜に移動し、以降7回の噴火活発期(13世紀初め、14世紀、15世紀、16世紀、17世紀、18世紀終わり～19世紀中葉、19世紀末)があり、御釜南東の旧火口からの噴火は9～11世紀であったことが解明されている。

本研究では、五色岳火砕岩類ユニット1, 2の噴出口を推定するとともに、近傍噴出物の対比を行い火口近傍噴出物の形成時期を決定する。このように火口近傍噴出物について噴出口を明らかにし、また御釜由来噴出物についてはその形成時期も推定して、試料を系統的に採取する。

(2) 五色岳火砕岩類初期噴出物の岩石学的分析

系統的に採取した試料について、斑晶組成累帯や溶融組織に注目した岩石組織解析、鉱物化学組成分析、全岩化学組成分析(主要元素、微量元素及びSr同位体比)を行う。

(3) 浅部マグマ供給系の構造の詳細解析

これまでの研究(Ban et al., 2016)によれば、マグマ供給系は大きく深部(高温苦鉄質マグマ)と浅部(低温珪長質マグマ)に分けられ、噴出時には深部から高温マグマが上昇・貫入・混合し、噴出に至ったと考えられている。本研究では高精度噴火史に基づく試料の岩石学的データを基に、浅部マグマ溜りの詳細構造を明らかにする。

(4) 噴火に至るタイムスケールの推定

供給系解明の中で重要な位置を占めることのひとつに、深部から上昇したマグマが浅部マグマ溜り内に注入してから噴出するまでの時間を見積もることがある。注入によって、マグマ溜り内の結晶の外縁部が成長し、その後のマグマ溜りの均質化～噴火の間に滞留中に元素拡散によって均質化して行く。噴出した時点で元素拡散はほぼ停止する。現在得られる試料中該当する結晶の元素濃度分布を化学分析によって求め、また、外縁部成長時の元素濃度分布を見積もれば、その差を生じた時間がどのくらいであるかを、元素拡散方程式を解くことによって求めることができる。得られた時間が注入から噴火までに要した時間となる。

(5) 浅部低温マグマの成因

浅部マグマだまりを満たしているマグマはそもそもどのように形成されたのかを、噴出物の化学組成を解析することによって解明する。

4. 研究成果

(1) 噴火史の精密化と系統的試料採取

五色岳火砕岩類のユニット3は旧火口から、ユニット1は旧火口のさらに東方の火口からもたらされたことが判明した。また、ユニット4を細分した4-1～4-5の噴出物については、各々が、13世紀初め、14世紀、15世紀、16世紀、17世紀の噴火によるものである可能性が高いことが判明した。判明した層序を基に、火口近傍の噴出物から時間軸に沿って系統的に試料を採取

した。

(2) 御釜火口噴出物の岩石学的分析結果

五色岳火砕岩類は、かんらん石、単斜輝石、直方輝石、斜長石を斑晶に持つ玄武岩質安山岩～安山岩である。輝石斑晶には外縁部、一部には内部にも組成累帯構造が見られ、また、斜長石斑晶は波動累帯に加え、多様な種類の溶融組織が認められる。これらは深部高温マグマの注入を示唆している。各ユニット共に大局的に見て似た特徴を持っているが、ユニット4,5は、かんらん石斑晶量が少ないことや輝石の斑晶内部に組成累帯を持たないものがほとんどであることなど、その他のユニットに比較して特徴が異なっている。

また全岩組成は、ユニット4,5は他のユニットに比較して K_2O 量など及びSr同位体組成も優位に高いという結果が得られた。

(3) 浅部マグマ供給系の構造の詳細解析結果

全岩組成、鉱物化学組成を基に、MELTSプログラムを用いて検討した結果、ユニット1については、珪長質端成分マグマは、 SiO_2 量は約60%、温度980、含水量は2~3%、苦鉄質端成分マグマは、 SiO_2 量は約48%、温度1100、含水量は約2~3%、一方でユニット4及び5については、 SiO_2 量は59%、温度950~970、含水量3%、苦鉄質端成分マグマは、 SiO_2 量は50~52%、温度1040以上、含水量は約5%と求まった。両方の場合について、推定した圧力から見積もったマグマ溜りの深さは地下約6kmと求まった。何れの場合もコンラッド面の上方に浅部マグマだまりが存在し、深部高温マグマが注入していたと考えられる。しかし特徴はやや異なっていたと考えられる。また、斑晶組織の解析から、浅部マグマだまり内には中間組成のマグマが存在していたこと、マグマ注入した高温マグマは中間マグマと混合し組成を変化させながら珪長質マグマに到達してそれと混合したと推定された。このような動的な現象は噴火前に活発に行われ、噴火後は上部に珪長質、下部に中間組成のマグマが比較的静的に存在していたと考えられる(Nishi et al., 2019)。

(4) 噴火に至るタイムスケールの推定解析

珪長質マグマ由来の多数の輝石斑晶について外縁部付近の累帯構造を解析し、マグマ混合から噴火に至るタイムスケールを見積もったところ、噴火に直結しない注入は噴火の約50年以上前から行われていたこと、また噴火に直結する注入は噴火前の数年以内に行われていたことが推定された。なお、噴火に直結しない注入の開始時期や噴火に直結する注入の時期のピーク時期についてはユニットによって異なっていた可能性がある。

(5) 浅部低温マグマの成因

結果に記した、全岩 K_2O 量など及びSr同位体組成も、ユニット4,5は他のユニットに比較して優位に高いという結果は、火口が御釜に移った時に、地下のマグマも異なるものになったということを意味している。噴火の大元のマグマは珪長質と苦鉄質のものが存在するが、組成トレンドを検討した結果、少なくとも珪長質マグマ、すなわち浅部マグマは変わったことが明らかとなった。火口が御釜に移る前に新たに形成された可能性が高い。おそらく深部地殻物質の溶融が関係していると思われる。

本研究によって得られた成果の一部は、噴火推移予測にも役立てた(伴他, 2019)。

< 引用文献 >

Ban, M., Takebe, Y., Adachi T., Matsui R., Nishi Y., Eruption histories of Zao and Azuma volcanoes and their magma feeding systems of recent activities. Bulletin of the Earthquake Research Institute Univ. Tokyo. Vol. 91, 2016, 25-39.

Nishi Y., Ban M., Takebe M., Álvarez-Valero A.M., Oikawa T., Yamasaki S., Structure of the shallow magma chamber of the active volcano Mt. Zao, NE Japan: Implications for its eruptive time scales. Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 371, 2019, 137-161.

伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子・後藤章夫・山本希・三浦哲, 近代的噴火観測事例のない火山での噴火推移予測: 蔵王火山の例. 火山, Vol. 64, 2019, 131-138.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 伴雅雄・及川輝樹・山崎誠子・後藤章夫・山本希・三浦哲	4. 巻 64
2. 論文標題 近代的噴火観測事例のない火山での噴火推移予測：蔵王火山の例	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 火山	6. 最初と最後の頁 131-138
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18940/kazan.64.2_131	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Nishi, Y., Ban, M., Takebe, M., Alvarez-Valero, A.M. Oikawa, T. and Yamasaki, S.	4. 巻 371
2. 論文標題 Structure of the shallow magma chamber of the active volcano Mt. Zao, NE Japan: Implications for its eruptive time scales	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Volcanology and Geothermal Research	6. 最初と最後の頁 137-161
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2019.01.003	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 該当する
1. 著者名 Oizumi R., Ban M., Iwata N.	4. 巻 8
2. 論文標題 Evolution history of Gassan volcano, northeast Japan arc.	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Open Journal of Geology	6. 最初と最後の頁 647-661
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.4236/ojg.2018.87038	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Sato S, Ban M, Oikawa T, Yamasaki S, Nishi Y	4. 巻 -
2. 論文標題 Exploring the Basal of the Volcano: A Case Study of an Active Stratovolcano, Mt. Zao, NE Japan	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Volcanoes, InTech	6. 最初と最後の頁 35-51
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5772/intechopen.71677	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Alvarez-Valero, A.M., Burgess, R., Recia, C., de Matos, V., Sanchez-Guillamond, O., Gomez-Ballesteros, M., Recio, G., Fraile-Nuez, E., Sumino, H., Flores, J.A., Ban M., Geyer, A., Barcena, M.A., Borrajo, J., Compana J.M.	4. 巻 480
2. 論文標題 Noble gas signals in corals predict submarine volcanic eruptions	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Chemical Geology	6. 最初と最後の頁 28-34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) org/10.1016/j.chemgeo.2017.05.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計16件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Takebe, M, Nishi, Y, Ban, M
2. 発表標題 Evolution of the Magma Feeding System of the Komakusadaira Pyroclastics in Zao Volcano, Northeast Japan Arc
3. 学会等名 27th IUGG General Assembly, Montreal Canada (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤初洋・伴雅雄
2. 発表標題 蔵王火山, 五色岳火砕岩類上部における噴火準備過程
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 佐藤初洋・伴雅雄
2. 発表標題 蔵王火山, 御釜火口活動期における噴火準備過程
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杉下七海・伴雅雄・常松佳恵・佐々木寿
2. 発表標題 蔵王火山1895年噴火の投出岩塊の噴出速度および噴出角の推定
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 川島弘之介・伴雅雄・常松佳恵・片岡香子
2. 発表標題 蔵王山東麓、濁川・遠刈田地域のラハール堆積物ー堆積過程・発生要因・年代についてー
3. 学会等名 日本火山学会2019年度秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sato, M. and Ban, M.
2. 発表標題 Pre-eruptive processes of Goshikidake pyroclastic rocks unit 4-5 deposits, Zao volcano, Japan: Zoning profiles of orthopyroxene phenocrysts
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伊藤直人、伴雅雄
2. 発表標題 蔵王火山、熊野岳山頂溶岩および馬の背溶岩における層序と岩石学的特徴
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 佐藤初洋、伴雅雄
2. 発表標題 蔵王火山, 五色岳火砕岩類 unit IV-5 のマグマ混合プロセス
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 佐藤初洋、伴雅雄
2. 発表標題 蔵王火山, 五色岳火砕岩類 unit IV-5 の噴火準備過程
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伴雅雄、木村純一、高橋俊郎、鶴沢由香、大場司、藤縄明彦、林信太郎、吉田武義、宮崎隆、Chan Qing、仙田量子、Vaglarov Bogdan、巽好幸
2. 発表標題 下部地殻マグマプロセス：東北日本第四紀フロント火山の同位体組成からの検討
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 西勇樹、伴雅雄、及川輝樹
2. 発表標題 蔵王火山、五色岳旧火山体の形成史
3. 学会等名 JPGU
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sato S, Ban M, Nishi Y, Oikawa T, Yamasaki S
2. 発表標題 Temporal change of magma plumbing system in flourish time of Zao volcano, NE Japan
3. 学会等名 IAVCEI2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伴雅雄、佐藤真、西勇樹、及川輝樹、山崎誠子
2. 発表標題 蔵王山、古熊野岳-中丸山火山体のマグマ供給系の変化
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤直人、伴雅雄
2. 発表標題 蔵王火山、熊野岳山頂溶岩および馬の背溶岩における層序とマグマ供給系の解明
3. 学会等名 日本火山学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西勇樹、伴雅雄、及川輝樹、山崎誠子
2. 発表標題 蔵王火山五色岳形成開始前後のマグマ溜まりの構造について
3. 学会等名 日本火山学会2017年度秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ban M
2. 発表標題 Eruption history of Zao volcano
3. 学会等名 15th International Workshop on WATER DYNAMICS Deeper and Hotter in Frontier Earth (国際学会)
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 編集委員長吉田武義、副編集委員長永広昌之、伴雅雄	4. 発行年 2017年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 693
3. 書名 日本地方地質誌2「東北地方」	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>研究者情報 https://researchmap.jp/read0169359 http://yudb.kj.yamagata-u.ac.jp/html/631_ja.html</p>
--

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
研究分担者	新城 竜一 (Shinjo Ryuichi) (30244289)	琉球大学・理学部・教授 (18001)	