

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400491

研究課題名(和文) 爆発的水底噴火モデルの構築

研究課題名(英文) Modeling of explosive subaqueous eruptions

研究代表者

鹿野 和彦 (Kano, Kazuhiko)

鹿児島大学・総合研究博物館・教授

研究者番号：40356811

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：島根半島の中新世水冷火山弾について気孔数密度分布と孔隙率を調べ、それらがストロンボリ式噴火と同様の過程で生産されたことを明らかにした。次に、島根半島の中新世浅海底火砕丘の噴出物が火道充てん堆積物よりもかなり細粒で、火砕粒子が放出されてから定置するまでの間にさらに粉砕される可能性を指摘した。また、奥尻島勝淵山火山において、外来水に触れた高温の珩長質メルト/ガラスが水冷と水和によって破断するとともに、水が爆発的に体積膨して繰り返し発生した火砕サージの事例を見出した。これらの事例研究は、爆発的水底噴火では火道内での過程に加えて噴煙やメルトに取り込まれた外来水の果たす役割が重要であることを示す。

研究成果の概要(英文)：Water-chilled bombs collected from the Miocene deep marine successions of the Shimane Peninsula have a vesicle-number density distribution and a porosity indicative of a Strombolian-like eruptive process. In a Miocene shallow-marine pyroclastic cone of the same Peninsula, scoria-agglutinate fills the conduit but the correlative eruption-fed scoria-density-current deposits are much finer-grained with minor projectiles, suggesting water-ingestion and explosive water-particle interactions in the plumes or currents. Pyroclastic density current deposits from Katsumayama volcano are composed mainly of rhyolitic perlite clasts, being produced through water quenching, hydration-induced cracking and explosive heating water to steam. These case studies show external water play an important role in explosive subaqueous eruptions.

研究分野：火山地質学

キーワード：爆発的水底噴火 マグマ水蒸気噴火 水蒸気噴火 ジェット粉砕 水冷破砕 水和 気孔数密度 粒径分布

1. 研究開始当初の背景

水底噴火は、水に阻まれて発生したこと自体察知することが難しく、仮に噴火の発生を知り得たとしても簡単には近寄れない。このため、様々な観測手段をもってしてもその実態を把握することがむずかしく、陸上での噴火に比べて不明な点が多い。最近では、噴火に伴う地震を観測することで噴火発生を察知し、その場所を特定することも可能になっているが、観測点が遠隔地にあることが多いため、噴火の動態を詳細に知るだけのデータを得るに至っていない。また、活動的な水底火山に潜水艇で近寄って観察することも可能で、直接噴火を観察する機会に恵まれることもあるが、そのような事例は極めて少ない。特に、接近して爆発的噴火を観察することは極めて危険であり、噴煙が水面を突き破るほど極めて浅いところで発生した噴火以外で直接観察された例は未だまれである。したがって、水底噴火に関する最近の研究では、マグマだまりから火口に至るまでの火道内でのメルトとガスの挙動によって噴火の様式や規模が決まるとする前提に立って、噴火直後に海底に堆積した噴出物や、地層の中に保存されている噴出物を採取し、噴出物の特徴（堆積構造や、構成火砕粒子の粒径、形態、気泡数密度、結晶数密度など）を合理的に説明できるような噴火・流動・定置機構の物理的モデルを構築する試みがなされつつある。

2. 研究の目的

爆発的水底噴火の様式がマグマだまりから火口に至るまでの火道内でのメルトとガスの挙動によってきまるとすれば、陸上で観察されるハワイ式、ストロンボリ式、プリニー式、ブルカノ式噴火などのマグマ爆発と、マグマが取り込んだ外来水の体積膨張マグマ水蒸気爆発に対応する爆発的噴火が水面下でも起こるはずである。しかし、水中に放出されたマグマ片や火道内のマグマは、接触する水と触れることで、より爆発的になることもあれば、水圧によって爆発が抑制されることもあり、予測とは異なる挙動を経て、その噴火様式（噴火機構）と規模に応じて、陸上とは異なる特徴を備えた火砕粒子の集積をもたらすはずである。そこで、水面下での爆発的噴火によってもたらされた複数の噴出物の特徴（例えば、堆積構造や構成火砕粒子の粒径、形態、気泡数密度、結晶数密度など）に基づいて、それぞれの噴出物をもたらした複数の物理的プロセスを推定し、それらを矛盾なく説明できる爆発的水底噴火モデルを構築する。

3. 研究の方法

島根半島の法田に分布する前期中新世火山噴出物、佐波に分布する後期中新世火山噴出物、北海道奥尻島の勝淵山火山噴出物を対象に、噴出物の分布と噴出環境（水深、地形）、噴出物の堆積構造、火砕粒子の種類と粒径、

形態、化学組成、鉱物組成、気泡と結晶のサイズと数、形態、形態などを測定するとともに、残留磁化を測定する。さらに、このようにして得られたデータから導き出されるマグマの温度・圧力、粘性などの物性と、ガスの分離過程と結晶の晶出過程などの制約条件の中で、物理的に起こりえる爆発的水底噴火モデルを推定する。

4. 研究成果

(1) 水深 200-1500m の海底に噴出したとされている松江市法田諸喰付近の前期中新世安山岩は、水に急冷されて生じた細かな収縮割れ目が発達する水冷火山弾とその碎片からなる水中降下堆積物と噴火に直接由来する水底密度流堆積物などからなり、法田から馬乗り鼻まで東西 2.5km 南北 0.8km の範囲に分布する。馬乗り鼻東方では同質の水冷自破砕溶岩・枕状溶岩がこれに重なる。火砕岩と直下の黒色泥岩との間には上方に朝顔状に開いた火砕岩と同質の安山岩が貫入している。これは火砕岩と同源で、そこから派生した岩脈は火砕岩に貫入してペペライトを形成している。

火山弾は水冷された徴候が顕著で有り、段階的に熱消磁したところ、590-620°C で磁化強度が初生磁化の 5% に減少したことから、これより高温で水中に放出されたことが示された。この熱残留磁化は偏角 141.4°、伏角 -58.8° 付近に集中しており、着底直前から直後にかけて磁化し、そのまま定置したことがうかがえる。火山弾の気孔を対象とした直径と累積数密度との関係、直径に対する数密度の比と直径との関係は、気泡の核形成と成長、合体が連続的に進行したことを示す。しかし、火道を上昇中にこれらが起こったとしても、数密度 ($1-7 \times 10^2 \text{ mm}^{-3}$)、孔隙率 (15-28%) と爆発的噴火を起こすには気泡の数も体積も小さすぎることもわかった。このことは、噴火に直接関係した気泡はマグマ溜まり上部に濃集して合体し、マグマとともに浮力を得て火道を上昇し、水中で爆発したことを示唆する。その結果生じた降下堆積物がその後の噴火で崩壊し、密度流が発生すれば火山弾とそれらの碎片からなる密度流堆積物がもたらされる。ただし、火山礫・粗粒火山灰粒子主体の多重層は、火道に流入した水とマグマとの爆発的反応で起こったマグマ水蒸気噴火によって生じた可能性が考えられる。

(2) 島根半島佐波湾から外海へと続く海食崖には前期中新世に半深海から浅海へと成長した海底複合火山の断面が露出する。その最下部は湾奥の両岸に露出する安山岩枕状溶岩で、湾の東岸ではこれに水冷スパター、玄武岩質安山岩の破片からなる水底噴火起源タービダイト、水深 100m 以浅に生息する生物の遺骸や生痕をまれに含む火山源再堆積物が順に重なる。西岸には直径 450m の複

合火道があって火道周辺の溶岩火砕岩に類似した岩石の破片がこれを埋めている。火道内において壁に直に接してしているのは強溶結した安山岩スパターで、その内側には、細粒物に乏しい玄武岩質安山岩角礫岩、同質のアグルチネートとこれに漸移するコーンシートがあり、さらに内側に再び玄武岩質安山岩角礫岩が現れる。

東岸の水冷スパターは火道を埋積する強溶結スパターと同質で、強溶結スパターのブロックを取り込んでおり、ストロンボリ式噴火に似たマグマ爆発で水中に放出されて火口周辺に堆積したものと解される。また、火道中の玄武岩質安山岩角礫岩は対応する溶岩が外部にはないので、水冷破碎またはマグマ水蒸気爆発で生じた角礫が火道内にとどまったものと考えられる。

水冷スパター直上のタービダイトには斜交層理や火災構造、ブロック・サグなどがあり、これが直近の火道方向から流れてきたことを示唆する。これを構成する岩片は、火道内のアグルチネートやコーンシートと同質で様々な程度に発泡しているが、細粒で平滑な破断面で囲まれているものが多い。これは、ハワイ式もしくは強いストロンボリ式噴火に似たマグマ爆発で火山ガスと共に噴煙柱をなして放出された後、噴煙柱に取り込んだ水によるマグマ片の水冷破碎と、加熱された水が水蒸気になる急激な体積膨張によるマグマ片のジェット粉碎の結果と考えられる。

(3) 本研究では爆発的水底噴火モデルの構築に向けて各年度に1つずつ代表的事例をとりあげて、噴出物から読み取れる噴火プロセスを検討した。初年度は、島根半島諸島で見つかった水深200m以深で放出された水冷火山弾とその破片をとりあげ、気孔数密度分布と孔隙率を調べることで、それらが陸上のストロンボリ式噴火と同様の噴火プロセスで生産された可能性が高いことを示した。次年度は島根半島佐波湾で見つかった海底複合火砕丘の断面をとりあげ、そこに凍結されている気泡の成長・合体に伴う噴火プロセスを記述するとともに、水流に放出された火砕粒子が火道内で形成された火砕粒子よりも細かく粉碎されていることを見出し、噴煙が水中に放出され密度流となって流下する過程で取り込んだ水の急激に体積膨張するプロセスが存在する可能性を指摘した。最終年度は、北海道奥尻島勝淵山火山から繰り返し噴出した火砕サージ堆積物を調べた。この火砕サージを構成する火山礫と火山灰粒子はガラス質黒雲母流紋岩の破片で、内部に生じた真珠岩様割れ目を粒子表面の破断面が切っている。火砕粒子に含まれる構造水のD/H比は外来水とメルトもしくはガラス中のOHとの間で水素同位体交換が高温で起こったことを示唆する。真珠岩様割れ目は流紋岩ガラスが水に接して水冷破碎し、水和するにつ

れてガラス転移温度(400-500°C)付近まで冷えて膨張、破断して生じる。これが地下の閉じた系で起こると外来水が加熱されて生じた水蒸気が割れ目内にとどまって内圧を高め、マグマ上昇に伴う圧力変化や振動が引き金となって爆発に至ることが考えられる。このような溶岩と外来水との反応は、マグマと水との接触面が限定されているために後続のマグマによって繰り返し起こりえる。

(4) 以上の3つの事例研究は、爆発的水底噴火では火道内でのプロセスに加えて噴煙及び溶岩内部に取り込まれた外来水の果たす役割が重要であることを示す。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計 6 件)

鹿野 和彦、始良カルデラにおける環境変遷-淡水湖から内湾へ-、鹿児島大学総合研究博物館 Newsletter、No.40、2017、pp.1-5 (査読無)

鹿野 和彦、小林哲夫、仲谷英夫、森脇広、始良カルデラにおける後カルデラ火山活動と環境変遷-淡水湖から内湾へ-、地学雑誌(地学ニュース)、Vol.40、2016、pp.N114-N114 (査読有)

鹿野 和彦、大塚裕之、特別公開「世界初、徳之島で発見されたアマミノクロウサギの化石」、鹿児島大学総合研究博物館 Newsletter、No.38、2016、pp.2-4 (査読無)

鹿野 和彦、内村 公大、第14回特別展「現代によみがえる生き物たち-種子島にゾウがいた頃-」、鹿児島大学総合研究博物館 Newsletter、No.36、2015、pp.1-32 (査読無)

鹿野 和彦、内村 公大、その昔、始良カルデラは淡水湖だった:始良カルデラの環境変化、鹿児島大学総合研究博物館 Newsletter、No.37、2015、pp.14-18(査読無)

内村 公大、鹿野 和彦、大木 公彦、南九州、鹿児島リフトの第四系、地質学雑誌、Vol.120 補遺、2014、pp.S127-S153 DOI: 10.5575/geosoc.2014.0017 (査読無)

[学会発表](計 10 件)

鹿野 和彦、島根半島佐波湾における中期中新世浅海火砕丘/成長と爆発的噴火、2016年10月14日、富士吉田市民会館(山梨県富士吉田市)

前浜 悠太、鹿野 和彦、大木 公彦、入月 俊明、鹿児島湾奥、新島、完新統燃島貝層の石灰質微化石に基づく古環境復元、日本地質学会第123年学術大会、2016年9月11日、日本大学文理学部(東京都世田谷区)

鹿野 和彦、柳沢 幸夫、森脇 広、小

林 哲夫、味喜 大介、井口 正人、始良カルデラの後カルデラ火山活動と環境変遷、日本地質学会第 123 年学術大会、2016 年 9 月 11 日、日本大学文理学部(東京都世田谷区)

鹿野 和彦、西南日本、島根半島諸嶺における水冷火山弾の産状と噴火様式、日本火山学会 2015 年度秋季大会、2015 年 9 月 29 日、富山大学五福キャンパス(富山県富山市)

中岡 礼奈、鈴木 桂子、鹿野 和彦、西南日本、島根半島諸嶺における水冷火山弾の古地磁気、日本火山学会 2015 年度秋季大会、2015 年 9 月 28 日、富山大学五福キャンパス(富山県富山市)

鹿野 和彦、新島軽石：爆発的噴火に由来する水底密度流堆積物の堆積学的特徴、日本地質学会第 122 年学術大会、2015 年 9 月 12 日、信州大学長野キャンパス(長野県長野市)

鹿野 和彦、内村 公大、鹿児島湾奥、新島の完新統層序、日本地質学会第 122 年学術大会、2015 年 9 月 11 日、信州大学長野キャンパス(長野県長野市)

鹿野 和彦、爆発的の海底噴火の謎に迫る、鹿児島県地学会講演会(招待講演)、2014 年 11 月 15 日、鹿児島県文化センター(鹿児島県鹿児島市)

鹿野 和彦、金子信行、千葉とき子、隠岐島前火山、焼火山火砕丘の噴火機構、日本火山学会 2014 年度秋季大会、2014 年 11 月 2 日、福岡大学(福岡県福岡市)

鹿野 和彦、東北日本、男鹿半島における新生界層序の再検討と日本列島の形成過程、日本地質学会第 121 年学術大会(招待講演)、2014 年 9 月 15 日、鹿児島大学郡元キャンパス(鹿児島県鹿児島市)

研究者番号：

(3)連携研究者 ()

研究者番号：

(4)研究協力者 ()

〔図書〕(計 2 件)

White, J.D.L., Chipper, C.I., Kano, K., Chapter 31 Submarine Explosive Eruptions, In Sigurdsson, H. et al. (eds.), The Encyclopedia of Volcanoes, 2nd ed., 2015, Academic Press, pp.553-568

鹿野 和彦、化石男鹿語る生物群集と環境の変遷、鹿児島大学島嶼研ブックレット、2016、北都書房、pp.59-62

6. 研究組織

(1)研究代表者

鹿野 和彦 (KANO, Kazuhiko)

鹿児島大学・学内共同教育研究学系・学内共同教育研究領域

研究者番号：40356811

(2)研究分担者

()