

論文の内容の要旨

論文題目 Eruption style and degassing process in terms of water content and vesicularity
(噴火様式と脱ガス過程：含水量と発泡度に基づく考察)

氏名 嶋野岳人

火山噴火はマグマと火山ガスを様々な量比、タイミングで噴出する複雑な現象であり、この理解は火山学の中心的課題である。これまでの理論モデルから、噴火様式はマグマの上昇・減圧による発泡現象と脱ガスの競合により決定されること、また、マグマの発泡過程はマグマの粘性や水の拡散に強く依存することが指摘されてきた。一方、噴出物解析に基づく研究はこれまで、以上のモデルを適用することにより観測量の解釈を行ってきた。しかし、これらの理論モデルでは脱ガス・気泡成長メカニズムをア priori に与えているため、むしろ観測量、噴出物を用いて検証されるべきものである。本論文では、天然の噴出物の発泡組織、含水率の両者の変化に着目してマグマの発泡・脱ガス過程を詳細に再構築し、マグマの発泡組織が発泡過程に与える効果を明らかにすることにより理論モデルに制約を与えた。

本論ではまず、噴火様式と噴出物を比較するため、両者に共通する変数として気相と液相（+固相）の体積噴出率を導入し、噴火様式を実際の観測値に基づく気相とマグマの噴出率（速度）のコンパイルに基づき分類を行った。一方、噴出時のガス量や脱ガス量を正確に定義・識別し議論するため、噴火前にマグマに溶存していた揮発性成分に対して発泡、分離後の「行き先」により4Classに分類を行い（Class I~Class IV）、岩石学的手法および噴出物の含水率・発泡度の測定に基づいて各Classの量比を求める方法

を構築した。また、上記の手法を天然の噴出物について適用して比較するため、閉鎖系平衡発泡過程を基に、気相の析出・膨張に起こる非平衡効果（遅延）、脱ガス効果を考慮したモデルによって、マグマ上昇に伴う発泡度変化の考察を行った。天然への適用は、物性（特に粘性）の異なる玄武岩質、流紋岩質マグマについて行った。

玄武岩質マグマの発泡過程

詳細にわたる観測がなされた三宅島 1983 年、2000 年海底噴火を対象に以上の手法を適用した。噴出物から岩石学的に推定した噴火直前のマグマ組成、温度、含水率（約 3.8 重量%）はほぼ一定であり、噴火様式の違いはマグマ上昇中の脱ガス過程の違いにより生じたことが示唆された。また、噴出物の含水量は全て 0.4 重量%未満であることから、いずれの噴火様式でも、マグマ上昇時の脱ガスが顕著であったことを示した。一方、噴出物の含水率・発泡度は噴火様式によって特徴的な値を持つこと（図 1）から、比較的火道浅部での脱ガス過程の違いが噴火様式に影響していることを示唆した。特に、マグマ水蒸気噴火や海底噴火の噴出物（水冷スコリア）では、同一層準の粒子でも発泡度と含水率に明瞭な逆相関関係が認められ、その変化方向は陸上での爆発的噴火噴出物（陸上スコリア）に漸移することから、各スコリア粒子の含水率・発泡度が、同一減圧経路をたどったマグマの火道の比較的浅部での固結タイミングの違いによって生じた「連続写真の 1 コマ」として説明できることを示した。

また、水冷スコリアの「連続写真」としての性質を用いて、発泡度の異なる粒子の気泡組織観察、気泡サイズ分布の解析を行った。その結果、気泡数密度が、発泡度約 0.2-0.5 で発泡度の上昇とともに増加し、発泡度約 0.5 を越えると減少することから（図 2）、発泡度変化が気泡核形成の卓越する段階と気泡の成長・膨張の卓越する段階に分けられることを示唆し

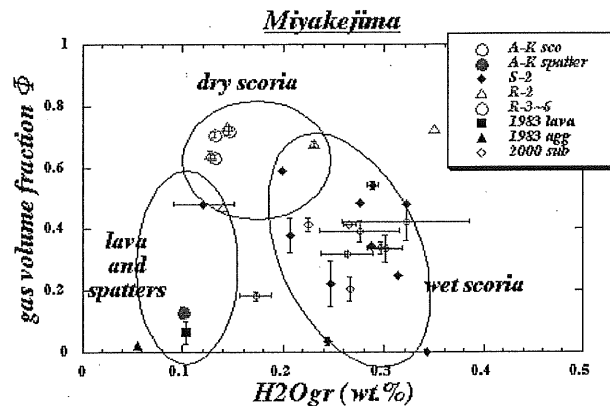


図1 三宅島1983年・2000年海底噴出物の含水率と発泡度の関係。

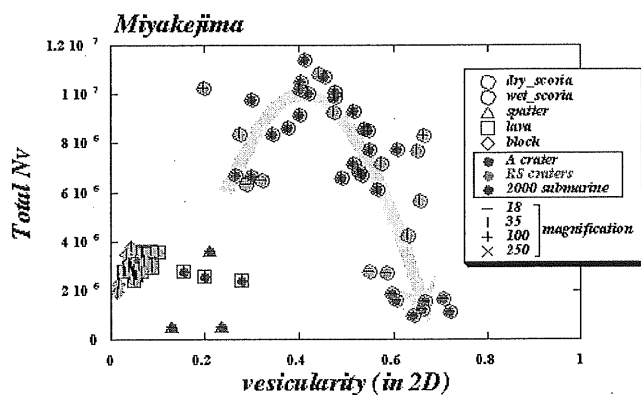


図2 三宅島1983年・2000年海底噴出物の発泡度と総気泡数密度

た。また、気泡数密度が増加から減少に転ずる際の平均気泡壁厚が未合体気泡壁の最小厚に相当することから、マグマ中の気泡が最密充填構造に到達することによって気泡合体が顕著になったことを示唆した。

一方、穏やかな噴火で噴出した溶岩流等は低発泡、低含水率であり、少数の変形した大気泡で構成されることから、これらの噴火様式では著しく脱水し、かつ気泡合体・分離も顕著であったマグマが噴出したと考えられる。また、発泡度減少に伴って、高発泡スコリアの値から連続的に平均気泡半径の増大、気泡数密度の減少が認められることから、高発泡スコリアと同様に十分な発泡が起これながら、上昇速度が遅いために気泡合体・分離による脱ガスが進行して、溢流噴火に至ったことが示唆された。噴火様式による同様の脱ガス程度の違いは、安山岩質玄武岩マグマを噴出した諏訪之瀬島 1813 年噴出物でも認められた。また、両噴火のスコリアとも、気泡数密度とサイズ<100 μ m の石基結晶量に正の相関が認められた。石基結晶度の高い噴出物では、石基結晶の多くが小気泡周囲のメルトの最も薄い部分を架橋する位置に分布するのに対し、石基結晶を欠く噴出物では、このように薄い気泡壁が少ない傾向があることから、石基結晶により気泡の合体が阻止される可能性が示唆された。

流紋岩質マグマの発泡過程

有珠火山 1977 年、2000 年噴火、ピナツポ火山 1991 年噴火、9 世紀の新島・神津島噴火の噴出物を用いて流紋岩質マグマの発泡過程を考察し、玄武岩質マグマとの比較を行った。これらの噴出物は全岩組成、初期含水率（約 5~6.5 重量%）がほぼ等しく比較的均質であり、噴火様式はマグマ上昇中の脱ガス過程の違いにより変化したと考えられる。また、噴出物の含水量も全て約 1 重量%未満であり、著しく脱ガスしたことを示した。そこで、本論では主に噴出物の発泡組織を比較し、流紋岩質マグマの発泡脱ガス過程を考察した。

有珠噴火軽石は、同一層内の粒子間で発泡度と含水率に逆相関関係が認められるので、三宅島の水冷スコリアと同様、各軽石粒子を同一脱ガス経路をたどったマグマの固結タイミングの違いによってできた「連続写真の 1 コマ」と考えることが出来る。気泡サイズ分布については、軽石（発泡度 0.6-0.8）の気泡数密度は発泡度の上昇とともに減少した。一方、同時に噴出した高含水率の細粒軽石（発泡度 0.15-0.8）では発泡度増加に伴う気泡数密度増加が報告されており、三宅島の水冷スコリアと同様に軽石の気泡数密度が増加から減少へ転換したことが示唆された。転換時の平均気泡壁厚は未合体気泡壁の最小厚に相当すること（図 3）から、発泡度約 0.4-0.5 の時点で最密充填構造に達することにより、多くの気泡の合体が起きたと考えられる。すなわち、流紋岩質マグマでも、爆発的噴火におけるマグマの発泡過程は核形成の卓越した段階と気泡の合体・成長が卓越した段階に分けることができ、その転換点が気泡の最密充填という構造に支配さ

れていたことが示唆された。

有珠軽石は、石基結晶度、気泡数密度が高い特徴をもつ。石基結晶は、気泡壁を構成するメルトを架橋する位置に分布し、とくに高結晶量 (>40%) の場合は結晶同士が互いに接して格子状構造を呈する。そのため、気泡サイズは0.1mm 未満に集中し、等方的な形状をなすものの、角の取れた矩形形状を呈する。以上の事実は、すでに連結気泡からなるマグマにおいて、石基結晶の存在によって気泡合体・消滅が阻止されたことを示している。

一方、ピナツボ火山 1991 年噴火では、低石基結晶度のマグマ（白色軽石）が高石基結晶度のマグマ（灰色軽石）と同時に噴出し、新島・神津島噴火では、マグマ水蒸気噴火を伴う火砕流噴火、火砕丘形成、ドーム形成を行い、低石基結晶度の流紋岩質マグマが噴出した。これらの噴出物の気泡数密度は爆発的噴火の軽石から火砕丘軽石、溶岩ドームの順に減少する。この変化はおおむね平均気泡径増加、発泡度減少と同調しており、噴火様式の違いは気泡の合体分離程度によるものと考えられる。これらの低石基結晶度マグマに顕著な特徴は、気泡の変形が著しいことである。気泡の一部は、長径短径比が最大 100 : 1 に達し、つぶれて消滅している。また、一部では多数の扁平な気泡が平行に重なり、数 μm まで薄くなった気泡壁が引き裂かれて合体し大きな気泡となる。このような気泡の著しい変形は石基結晶度の高い有珠軽石やピナツボ灰色軽石には認められない。以上の事実から、低石基結晶度マグマでは、石基結晶が存在しないために気泡の合体消滅が促進され、脱ガスが進行したものと考えられる。

石基結晶の存在により連結気泡構造が保持されたマグマの脱ガス機構は、連結気泡間の気相の浸透流が支配的であったと考えられる。一方、気泡合体・消滅（分離）による脱ガス機構は、気泡変形によって変形方向のマグマ中の浸透率を一時的に上昇させるが、一方で気泡消滅によって脱ガス通路を閉鎖しマグマ全体での浸透率が低下するため、連結構造中での浸透流による脱ガス機構にくらべて脱ガス効率が低い可能性が考えられる。以上の結果は、マグマの発泡脱ガス過程では、発泡構造自身だけでなく石基結晶による発泡構造への影響も重要であることを示唆していると考えられる。

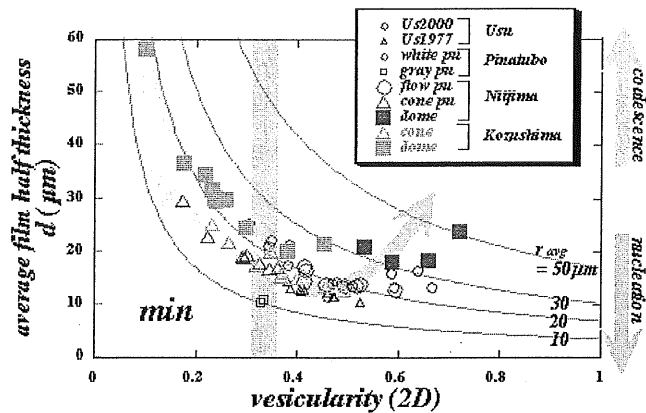


図3 流紋岩質噴出物の発泡度と平均気泡壁半厚。実線は等平均気泡半径を示す。射影部は気泡径=気泡壁厚を示す。