

機関番号：82626

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540474

研究課題名（和文） 大規模軽石噴火をもたらすマグマ溜まりの条件

研究課題名（英文） Conditions of magma chambers that cause large explosive eruptions

研究代表者

東宮 昭彦（TOMIYA AKIHIKO）

独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員

研究者番号：30357553

研究成果の概要（和文）：

大規模軽石噴火がどのようにして起きるかを理解するため、有珠山、樽前山、北海道駒ヶ岳で17世紀に相次いで起きた軽石噴火の噴出物等を対象として、岩石学的分析や高温高压岩石融解実験等を行なった。その結果、マグマ溜まりの条件（温度・圧力・含水量）を推定するとともに、噴火直前に起こった高温マグマの混合過程や、混合の起こったタイミング、などを明らかにできた。

研究成果の概要（英文）：

Petrographic study and high-pressure experiments were conducted on eruptive products of large explosive eruptions that had occurred at Usu volcano, Tarumai volcano and Hokkaido-Komagatake volcano during 17th century. Conditions (temperatures, pressures and water contents) of the magma chambers beneath these volcanoes were estimated. Magma mixing process between a new high-temperature magma and a pre-existing low-temperature magma was revealed for each volcano. The time of the magma mixing was also estimated for each pumice eruption.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	2,700,000	810,000	3,510,000

研究分野：火山学

科研費の分科・細目：地球惑星科学、岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：マグマ・火成岩、マグマ溜まり、噴火、火山、実験岩石学

## 1. 研究開始当初の背景

大規模軽石噴火（プリニー式噴火；噴出量はおよそ  $10^9 \text{ m}^3$  以上）は、我が国では100～200年に一度程度の低頻度ではあるが、もしそのような噴火が起きれば、大量の軽石・火山灰の堆積によって火山近傍のみならず広域的に大被害を生ずる。また、大規模軽石噴火は直前に長い休止期間（数百年～数千年以

上）を伴い、それまで全く噴火していなかった山から突然大噴火を引き起こすという傾向がある。こうした噴火に至る具体的なプロセスは、未だ解明されていない。噴火直前のマグマ溜まりの条件（温度・圧力等）や、噴火直前過程（高温マグマ混入など）に関する知見の蓄積が求められている。

## 2. 研究の目的

軽石噴火をもたらすマグマ溜まりはどのような条件を持つのか、噴火直前にマグマ溜まりで何が起きているのか、を岩石学的に解明する。そのために、有珠山、樽前山、北海道駒ヶ岳において、数千年という休止期間の後に起きた大規模軽石噴火を対象とし、噴出物の岩石学的分析や高温高压岩石融解実験等を行ない、軽石噴火に共通する特徴を明らかにする。各噴火について、噴火直前のマグマ溜まりの温度・圧力を推定するとともに、噴火直前に高温マグマの注入があったか、あったとしたらどのようなタイミングであったか、などを噴出物の分析によって調べる。

## 3. 研究の方法

マグマ溜まりの条件を決定するため、高温高压岩石融解実験を行なう。これは、岩石試料（噴出物）を高温高压実験装置（産総研の内熱式ガス圧装置）により様々な条件（温度・圧力等）に置き、得られた実験産物と天然の噴出物を比較することで、天然のマグマ溜まりの条件を推定するものである。また、熱力学的モデル“MELTS”を用いてさまざまな温度・圧力条件における実験生成物を数値計算によって求め、実際の実験と同様のことを行なう。一般には、実際に実験を行なったほうが高精度の結果が得られる。

噴火に至るまでのマグマプロセスを理解するため、噴出物の化学組成、含まれる斑晶の種類・組成・量比など基本的な岩石学データを、光学顕微鏡や電子線マイクロアナライザなどを用いて取得する。これにより、複数のマグマが混合しているか否か、混合している場合にはその端成分がどのような性質を持つか、などを推定する。

さらに、斑晶の組織や累帯構造（結晶成長に伴ってできる縞模様；マグマの条件変化を記録している）の詳細な解析を行なう。特に、均質化時間の短い「磁鉄鉱」（結晶内の元素拡散が速いため、数日程度という地質学的に短い時間スケールの変化を検出可能）に着目して分析を行ない、噴火直前に起きたマグマプロセスを抽出するとともに、そのタイムスケールを推定する。

## 4. 研究成果

### (1) マグマ溜まりの深さ

#### ①有珠火山

有珠火山 1663 年輕石噴火の噴出物（斑晶の少ない流紋岩；全岩  $\text{SiO}_2 \approx 75\text{wt.}\%$ ）の高温高压岩石融解実験を行い、噴火直前のマグマ溜まりの条件は、深さ約 10km（圧力約 250MPa）、温度約 780°C、含水量約 6wt.% であると推定した。この深さは、有珠火山 2000 年噴火時

に地殻変動観測によって見つかった膨張・収縮源（マグマ溜まり候補の 1 つ）の深さとも一致する。1663 年噴火をもたらしたマグマ溜まりが、2000 年噴火時も活動したと考えられる。さらに、本実験結果と 1663 年以後の噴出物の岩石学的データとを合わせることで、1663 年噴火のあとに深さ約 5km に別のマグマ溜まりが形成されたことも推定された。活火山である有珠火山のマグマ溜まりの条件が定まったことは、火山学的観点からだけでなく、火山防災的観点からも意義が大きい。

深さ 10km は、流紋岩質のマグマ溜まりに想定される深さとしてはやや深い。なぜなら、もしマグマ溜まりが浮力中立点（地殻物質の密度とマグマの密度が釣り合う深さ；深いほど高密度）に形成されるとするならば、低密度の流紋岩質マグマ溜まりは深さ 3-4km 以浅に形成されるべきだからである。このことから、深さ 10km は、流紋岩質マグマの下層に存在が推定されている苦鉄質マグマ（玄武岩-玄武岩質安山岩）の浮力中立で決まっていると推定した。この場合、流紋岩質マグマは、地殻物質の部分融解などによって、この深さで形成された可能性が考えられる。これは、1663 年噴火が有珠火山としては初めての珪長質（デイサイト-流紋岩質）マグマの噴出であることと整合的である。

また、本実験は、low-K タイプ流紋岩（カリウム濃度の低い特殊な流紋岩）における初めての高温高压岩石融解実験と考えられる。このため、鉱物-メルト間元素分配や熱力学的パラメータの決定という意味でも、貴重なデータを提供している。

有珠火山 1663 年輕石の高温高压岩石融解実験に関する成果については、国際誌 *Journal of Petrology* に 2010 年に掲載された (Tomiyama *et al.*, 2010)。

#### ②樽前火山および北海道駒ヶ岳火山

樽前火山 1667 年輕石噴火と北海道駒ヶ岳 1640 年輕石噴火の噴出物（いずれも斑晶の多い安山岩；全岩  $\text{SiO}_2 \approx 61-62\text{wt.}\%$ ）については、熱力学的モデル“MELTS” (Ghiorso and Sack, 1995; Asimow and Ghiorso, 1998) を用いて噴火直前のマグマ溜まりの条件を推定した。その結果、いずれも深さ 4km（圧力 100MPa）前後、温度 900-950°C、含水量 4wt.% 程度であると推定された。これは、安山岩マグマの浮力中立点と考えて矛盾の無い深さである。両火山とも、安山岩マグマの噴出を過去に繰り返しており、この深さのマグマ溜まりが古くから安定して存在していたことを示唆する。

このように、有珠火山 1663 年輕石と比べると、樽前火山 1667 年輕石と北海道駒ヶ岳 1640 年輕石は、マグマ組成の点からもマグマ

システムの点からも対照的であるといえる。一方で、これら3火山は、数千年の休止期間の後に噴出量  $1\text{km}^3$  オーダーの大規模軽石噴火を引き起こした、という共通点もある。これは、以下で述べるように、共通のマグマプロセスが働いていたためと考えられる。

樽前火山と北海道駒ヶ岳のマグマ溜まりに関しては、近日中に論文化の予定である。

## (2) 噴火に至るまでのマグマプロセス

### ①噴火直前の高温マグマの混合

有珠火山 1663 年噴火については、噴火の少し前（数年程度？）に、流紋岩質マグマが上層、苦鉄質マグマが下層、その境界部に中間組成マグマ、という成層構造を持つマグマ溜まりが存在したことが、噴火の直前（数日以内）にこれらマグマの混合が起きたことが推定されている（Tomiya and Takahashi, 1995）。本研究では、樽前火山や北海道駒ヶ岳火山の軽石噴火の前にマグマ溜まりで何が起きたのかを岩石学的に推定した。

樽前火山 1667 年噴火では、噴火直前に安山岩マグマと苦鉄質マグマの混合が生じていたことが、その結果生じた混合マグマは噴火の最初期に噴出したことが分かっている。今回、噴出物中の磁鉄鉱に着目し、その組成や累帯構造を調べたところ、噴火前のマグマ混合が複数回起こっていることが分かった。磁鉄鉱の累帯構造から Ti や Mg の元素拡散時間を求めたところ、直近の混合は噴火の直前（数週間以内）であり、他方は数年以上前と見積もられた。斑晶に富む低温の安山岩マグマ溜まりに斑晶に乏しい高温の苦鉄質マグマが噴火前に注入し、低粘性の混合マグマを形成、そこへ再度高温の苦鉄質マグマが注入し、混合マグマが先駆的に上昇して噴火に至ったと推定された。

北海道駒ヶ岳 1640 年噴火についても分析した結果、噴出物の斑晶の組成や組織など岩石学的特徴が樽前火山 1667 年噴火と極めて似ていることが分かった。このことは、両者の噴火プロセスも互いに似ていることを示す。ただし、磁鉄鉱に着目してみると若干の違いがあった。すなわち、噴火前のマグマ混合が1回だけであり、それは噴火の数カ月ほど前と見積もられた。

### ②マグマ混合のタイムスケール

有珠・樽前・北海道駒ヶ岳の3つの軽石噴火（プリニー式）を比較すると、噴火前に高温の苦鉄質マグマの混合があったことが、これにより中間組成のマグマが生じ、噴火の初期ステージにはまず中間組成マグマから噴出したことが、という共通点が見出された。軽石噴火のメインステージでは高シリカないし高斑晶量で高粘性のマグマが噴出するが、高

粘性マグマの上昇を引き起こすためには、低粘性の中間組成マグマが先駆的に上昇して経路を確保する必要がある（e.g., Pallister *et al.*, 1992）、ということが、ここでも当てはまると考えられる。

樽前・北海道駒ヶ岳の2つの噴火は、軽石の組成なども類似しているが、細かく見ると噴火直前プロセスに若干の違いが見つかった。すなわち、樽前 1667 年噴火では、初回マグマ混合から数年以上噴火できず、再度のマグマ混合から数週間以内で噴火に至った。一方、北海道駒ヶ岳 1640 年は、マグマ混合から数カ月で噴火した。両者の違いについて、北海道駒ヶ岳のほうが最初期マグマの流動性が高かったことが考えられる。

これらの成果については、東宮・竹内（2009a, 2009b, 2010）で発表し、近日中に論文化の予定である。

### ③霧島山新燃岳 2011 年噴火

2011 年 1 月に霧島山新燃岳で軽石噴火（準プリニー式）が起きたことに緊急対応し、この軽石の岩石学的分析も行なった。その結果、新燃岳 2011 年噴火でも噴火直前に高温マグマの混合が起きていたことが明らかになった。軽石噴火において、噴火直前の高温マグマの混合は普遍的現象であることが示唆される。

この結果については、東宮・他（2011）で発表し、近日中に論文化の予定である。

### (3) マグマの含水量

大規模軽石噴火など爆発的噴火の原動力となるのは、マグマ中の揮発性成分、特に水である。マグマ上昇中の減圧に伴い、溶解度（高圧ほど大）の低下した水が析出して気泡となり、浮力と過剰圧を獲得し、軽石噴火に至る。日本など島弧（沈み込み帯）においては一般にマグマの含水量が高い。この問題について、主に実験岩石学およびメルト包有物（斑晶に閉じこめられたメルト）分析の見地から論じた。

これまでに行われた実験や分析結果を総合すると、島弧の下のマントルで生じた初生マグマ（マントルかんらん岩の融解で直接生じたマグマ）には、水に乏しいマグマ ( $\text{H}_2\text{O} < 2 \text{ wt. \%}$ ) と水に富むマグマ ( $\text{H}_2\text{O} > 2 \text{ wt. \%}$ ) の両方が存在すると考えられる。このうち、前者はあまり分化せず（化学組成を変化させず）に地表に噴出できるが、後者はそれができないため地表にその証拠がほとんど現れない。かつて、島弧火山の初生マグマは水に乏しいと考えられていたが、これは後者の存在の吟味が不足していたためであった。これら議論については、雑誌「岩石鉱物科学」に 2011 年に掲載された（浜田・東宮, 2011）。

## 参考文献

- Asimow, P.D. and Ghiorso, M.S. (1998) *American Mineralogist*, Vol. 83, 1127-1131.
- Ghiorso, M.S. and Sack, R.O. (1995) *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 119, 197-212.
- 浜田盛久・東宮昭彦 (2011) *岩石鉱物科学*, 40 巻.
- Tomiya, A. and Takahashi, E. (1995) *Journal of Petrology*, Vol. 36, No. 3, 617-636.
- 東宮昭彦・竹内晋吾 (2009a) *日本地球惑星科学連合 2009 年大会予稿*, V160-010.
- 東宮昭彦・竹内晋吾 (2009b) *日本火山学会講演予稿集 2009 年度秋季大会*, p. 17.
- 東宮昭彦・竹内晋吾 (2010) *日本火山学会講演予稿集 2010 年度秋季大会*, p. 64.
- Tomiya, A. *et al.* (2010) *Journal of Petrology*, Vol. 51, No. 6, 1333-1354.
- 東宮昭彦・他 (2011) *日本地球惑星科学連合 2011 年大会予稿*, SVC070-P09.

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 浜田盛久・東宮昭彦 (2011). 相平衡実験とメルト包有物の分析に基づく島弧初生マグマの含水量の推定. *岩石鉱物科学*、査読有、40 巻、掲載確定.
- ② Akihiko Tomiya, Eiichi Takahashi, Noboru Furukawa, and Toshihiro Suzuki (2010). Depth and Evolution of a Silicic Magma Chamber: Melting Experiments on a Low-K Rhyolite From Usu Volcano, Japan. *Journal of Petrology*、査読有、51 巻、1333-1354.

[学会発表] (計 8 件)

- ① 東宮昭彦・竹内晋吾 (2010) 北海道駒ヶ岳 1640 年噴火 (Ko-d) の最初期相と噴火直前過程: 樽前 1667 年噴火 (Ta-b) との相違点. 日本火山学会 2010 年秋季大会、2010/10/10、京都大学 (京都市).
- ② Akihiko TOMIYA and Shingo TAKEUCHI (2009) Two-Stage Magma Mixing and Initial Phase of the 1667 A.D. Plinian Eruption of Tarumai Volcano. American Geophysical Union, 2009 Fall Meeting、2009/12/18、サンフランシスコ.
- ③ 東宮昭彦・竹内晋吾 (2009) 樽前 1667 年プリニー式噴火のマグマプロセス: 有珠 1663 年噴火との比較. 日本地球惑星科学連合 2009 年大会、2009/5/18、千葉市.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

東宮 昭彦 (TOMIYA AKIHIKO)  
独立行政法人産業技術総合研究所・地質情報研究部門・主任研究員  
研究者番号: 30357553

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

なし