

新燃岳2011年1月準プリニー式噴火のマグマ過程とその時間スケール*

Magmatic processes and their time scales of the January 2011 Sub-Plinian eruptions of Shinmoedake, Kirishima volcano

産業技術総合研究所 地質調査総合センター**

Geological Survey of Japan, AIST

1. 概要

新燃岳で2011年1月26～27日に起こった準プリニー式噴火前後のマグマ過程とその時間スケールについて検討した。その結果、噴火過程には少なくとも3つの段階があること、噴火直前（およそ数日以内）に高温マグマ注入があり、これが準プリニー式噴火をトリガーしたらしいこと、このような高温マグマ注入は2月のブルカノ式噴火直前には見られないこと、などが明らかになった。

2. 準プリニー式噴火のマグマ過程の推定

元素拡散が速くマグマ中で数年以内に再均質化する磁鉄鉱は、噴火直前のマグマ過程を調べるのに適する。新燃岳2011年噴出物中の磁鉄鉱をEPMAで分析し、化学組成やゾーニングから type-A0, A1, A2, B, C1, C2 の6種(※1)に分類するとともに、噴火直前のマグマ過程を推定した。

1月26～27日準プリニー式噴火の主要な噴出物である灰色軽石 ($\text{SiO}_2 \approx 57 \text{ wt.}\%$; 下司・他, 2011) に含まれる磁鉄鉱斑晶について、ゾーニングパターンの例を第1図に、斑晶中央部の化学組成を $\text{TiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ の組成空間にプロットしたものを第2図に示す。

A0は低Mg・低Alで内部が均質である。A1はA0に似るが、わずかにMg・Al濃度が高いほか、これら元素が結晶縁で急増するゾーニングを示す。ゾーニングの幅はA1よりMgのほうが広く、このゾーニングが元素拡散でできたことを示す。A2はA1より更にMg・Alがやや高いものである。組成空間上でA0-A1-A2の分布は連続することから、A2はA1の元素拡散がさらに進んだものと考えられる。

C1はXUsp (Ti濃度) が他より高い。結晶縁でMg・Al濃度が急増するゾーニングはA1に似ており、同様に元素拡散でできたと考えられる。ただしC1のMg濃度は縁直近で反転して急減することがある。C2はMg・Al濃度が特に高いものである。組成空間上でC1-C2の分布は連続することから、C2はC1の元素拡散がさらに進んだものと考えられる。B(第2図)は、C2の結晶縁組成の延長上にあたる仮想的成分で、Bの組成を持った磁鉄鉱は見つかっていない。

1月26～27日噴出物に少量含まれる白色軽石 ($\text{SiO}_2 \approx 62\sim 63 \text{ wt.}\%$; 下司・他, 2011) では、含まれる磁鉄鉱はA0とA1のみである。また、A1の内部は均質で、Mg・Alの顕著な増加は見られない。

以上から推定されるマグマ過程を第3図に示す。はじめにA0磁鉄鉱を含む低温マグマが存在した。この低温マグマは結晶度が高く、流動性が低かった。そこへ高温マグマが注入し [イベント(1)]、低温マグマを加熱して、流動層を形成した。流動層の中で磁鉄鉱A0がA1へと再均質化するとともに、おそらく高温マグマの冷却・分化に伴って磁鉄鉱C1が出現した。その後、高温マグマが再注入し [イベント(2)]、A1やC1を再加熱して、結晶縁でA1・Mgを急増させたり、A2やC2を生じさせた。そして、A1, A2およびC1, C2を含む混合マグマが上昇し [イベント(3)]、途中でA0を取り込みながら、1月26～27日に灰色軽石として噴火した。一方、流動層の上澄み(再加熱されなかったA1)とA0のみから成る部

* 2011年11月11日受付

** 東宮昭彦・斎藤元治・下司信夫・宮城磯治

分は白色軽石として噴火した。

(※1) 第121回火山噴火予知連絡会資料(「新燃岳2011年準プリニー式噴火過程の時間スケールの改訂」)や東宮・他(2011)などでは、この6種(磁鉄鉱5種+仮想的成分1種)の名称を type-A0, A1, B, C, D, X としていたが、今回次のように改称した: A0, A1→変更なし; C→A2; D→C1; B→C2; X→B. これにより、宮城・他(2011)のマグマ A, Ca, Cb, B との対応関係は次の通りとなる: A0="A", A1, A2="Ca", B="B", C1, C2="Cb" (左辺が磁鉄鉱のタイプ, 右辺が対応するマグマ).

3. 高温マグマ注入と噴火の時間スケール

上述のイベント(1)(2)(3)が起きてから噴火までの時間スケールを、磁鉄鉱のゾーニングプロファイルに拡散モデル計算結果をフィッティングすることで推定した。計算において、結晶は球対称、拡散係数は一定(濃度や時間によらない)とした。

磁鉄鉱中の元素拡散係数は、低 fO_2 条件(地下のマグマ中など)において、2価の陽イオン(Fe^{2+} やMnなど)で大きく、3~4価の陽イオンであるAlやTiはこれより小さい(Van Orman & Crispin, 2010)。磁鉄鉱中のMgの拡散係数のデータは公表されていないが、いくつかの証拠から(※2)、同じ2価の陽イオンである Fe^{2+} の拡散係数と同程度と考えられる。よって、ここでは次の拡散係数を採用した: $D_{Mg}=D_{Fe}=4.4 \times 10^{-15} \text{ m}^2/\text{s}$; $D_{Ti}=D_{Al}=4.3 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ (温度は鉄チタン酸化物温度計の推定値から950°Cとした)。

実際の拡散係数が採用値のもし2倍であれば、以下で求めた時間スケールは半分になる。このほか、ゾーニングプロファイルが粒子の真の中心から外れている可能性(薄片効果)や、フィッティングの誤差などもあるため、得られた時間スケールは数倍程度の不確定性は持つと考えられる。

イベント(1)(高温マグマが注入して流動層を形成)の時間スケールは、A0磁鉄鉱がA1磁鉄鉱に再均質化する時間から制約できる。これは、半径約50 μm の斑晶がほぼ再均質化するのに要する時間から、少なくとも30日以上と見積もられた。イベント(1)に関しては、これより以前に何回注入が起きたか、その注入が連続的であったか間欠的であったか、などについて、磁鉄鉱から判断できない。

イベント(2)(噴火直前の高温マグマ注入)の時間スケールは、A1, A2 および C1, C2 磁鉄鉱の"加熱"(Mg・Alの増加)時間から、0.2~8.4日(最頻値は0.6~2.5日付近)と見積もられた。すなわち、高温マグマの注入は噴火の数日前頃であり、これが準プリニー式噴火をトリガーした可能性が考えられる。

イベント(3)(マグマの上昇)の時間スケールは、A0磁鉄鉱の結晶縁ごく近傍に見られるMgの増加、およびC1, C2磁鉄鉱の結晶縁ごく近傍に見られるMgの減少に要する時間から、0.3日以下(数時間以内)と見積もられた。マグマ溜まりの深さが約6kmで上昇時間が仮に6時間とすると、マグマの平均上昇速度は1 km/h ($\approx 0.3 \text{ m/s}$)のオーダーとなる。

(※2) 以下の全てのことが、磁鉄鉱中のMgと Fe^{2+} の拡散係数が同程度であることを支持する:

- 900°Cの実験産物中の磁鉄鉱は2時間でMgが顕著に拡散しており (Semberg *et al.*, 2011), D_{Mg} は $10^{-15} \sim 10^{-16} \text{ m}^2/\text{s}$ 程度と見積もられる。
- 新燃岳の磁鉄鉱のMgのゾーニングの幅はFeやMnと同じであり、拡散係数も同様と考えられる。Mgの増加とFeの減少は対応し、Mg-Fe相互拡散が起きていると考えられる。
- 磁鉄鉱と類似のスピネル中において、Mgと Fe^{2+} の拡散係数はほぼ同じである (Liermann & Ganguly, 2002)。

- ・Ti と Mg から見積もった拡散時間がほぼ一致した。
- ・1月26～27日から2月14日までの間に磁鉄鉱斑晶（粒径 $100\mu\text{m}$ 前後）の Mg や Mn は均質化しているが（第4図），これから求めた D_{Mg} も $10^{-15}\sim 10^{-16}\text{ m}^2/\text{s}$ 程度と整合的である。

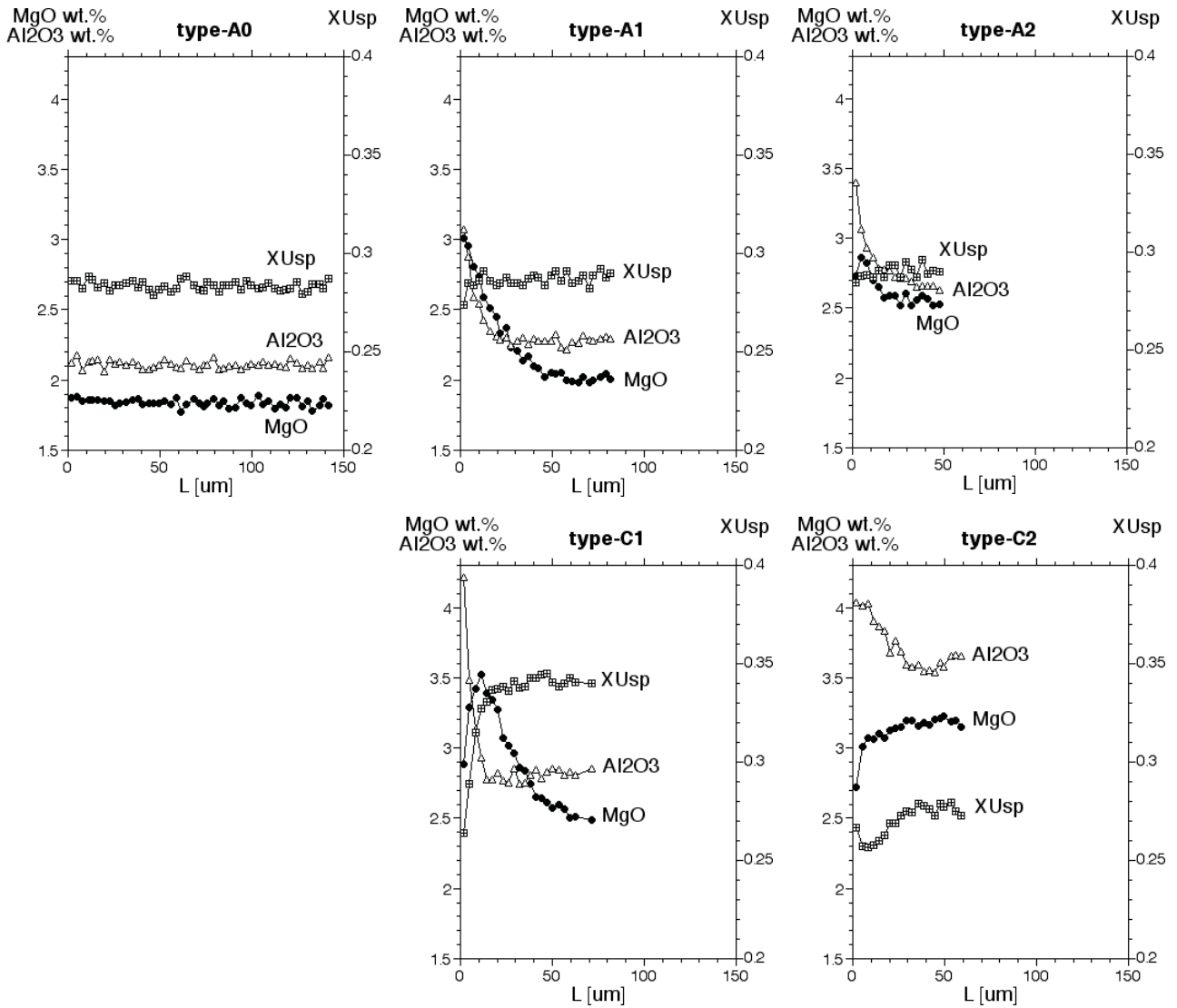
なお，スピネル中の Mg の拡散係数は上記の値より2桁小さく，磁鉄鉱にそのまま適用するのは不適當である。

4. 高温マグマ注入と噴火様式

1月26～27日準プリニー式噴火では，直前（数日前）に高温マグマの注入があったが，その後は1月26～27日噴火，2月1日噴火，2月14日噴火，と磁鉄鉱斑晶の均質化が進行している（第4図）。2月の1日や14日などのブルカノ式噴火では，高 Mg・高 Al の磁鉄鉱が存在せず，直前に高温マグマの注入が無かったか，注入があってもその熱的・物質的影響が噴出物に及ばなかったと考えられる。このことから，準プリニー式噴火のようなやや規模が大きく揮発性成分に富む噴火は直前に高温マグマの注入を必要とするが，ブルカノ式噴火ではその必要がない，という可能性が考えられる。

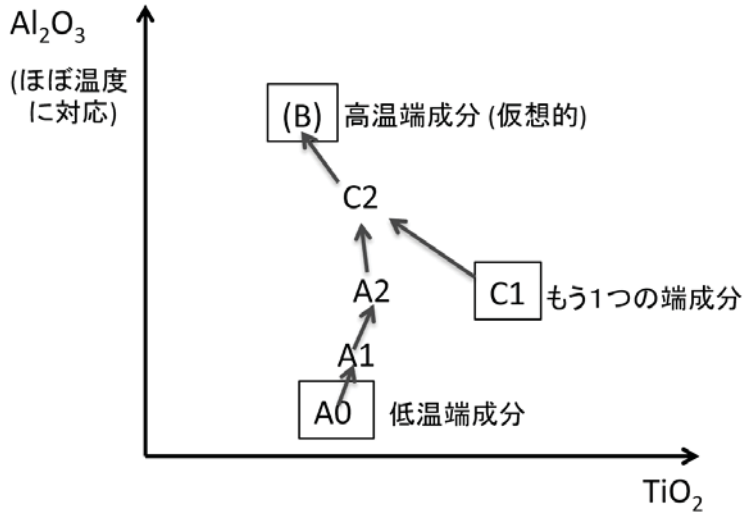
参考文献

- 1) 下司信夫・他（2011）：霧島火山新燃岳 2011 年 1 月噴火を駆動したマグマ，日本地球惑星科学連合 2012 年大会，SVC050-04.
- 2) 宮城磯治・他（2011）：霧島火山新燃岳 2011 年噴火：マグマ溜まりの収支，日本火山学会 2011 年秋季大会，A2-11.
- 3) Semberg, P. *et al.* (2011) : Interaction between iron oxides and olivine in magnetite based pellets during reduction at temperatures below 1000C, *Ironmaking & Steelmaking*, 38, 5, 321-328.
- 4) 東宮昭彦・他（2011）：新燃岳 2011 年噴火直前の高温マグマ注入過程：磁鉄鉱に着目した解析，日本火山学会 2011 年秋季大会，A2-09.
- 5) Van Orman, J.A. & Crispin, K.L. (2010) : Diffusion in Oxides, *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 72, 757-825.



第1図 1月26～27日準プリニー式噴火の灰色軽石に含まれる磁鉄鉍斑晶のゾーニングパターンの例
 横軸は斑晶縁からの距離. XUspはウルボスピネル成分(主成分)のモル比で、TiO₂濃度にはほぼ比例する.

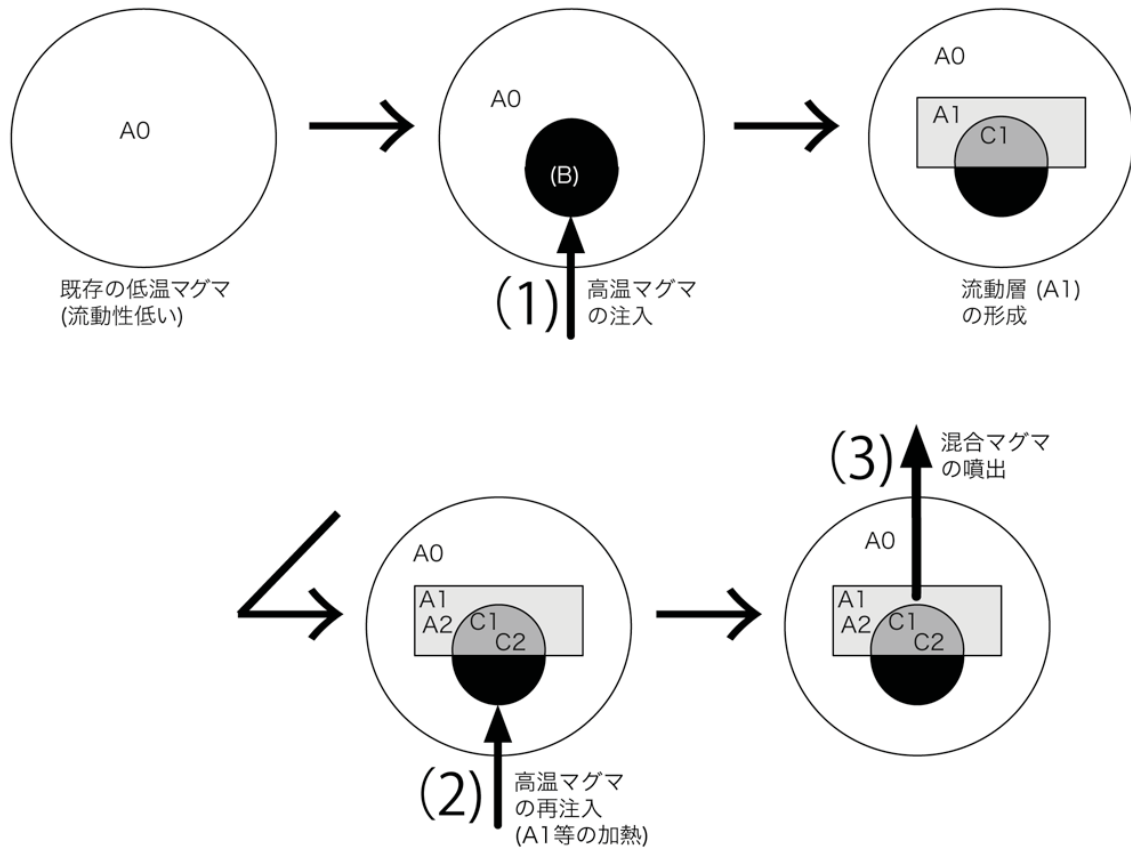
Fig.1 Typical zoning patterns of magnetite phenocrysts in gray pumices of the January 26-27 sub-Plinian eruptions.



第2図 斑晶中央部組成に基づく磁鉄鉱の分類

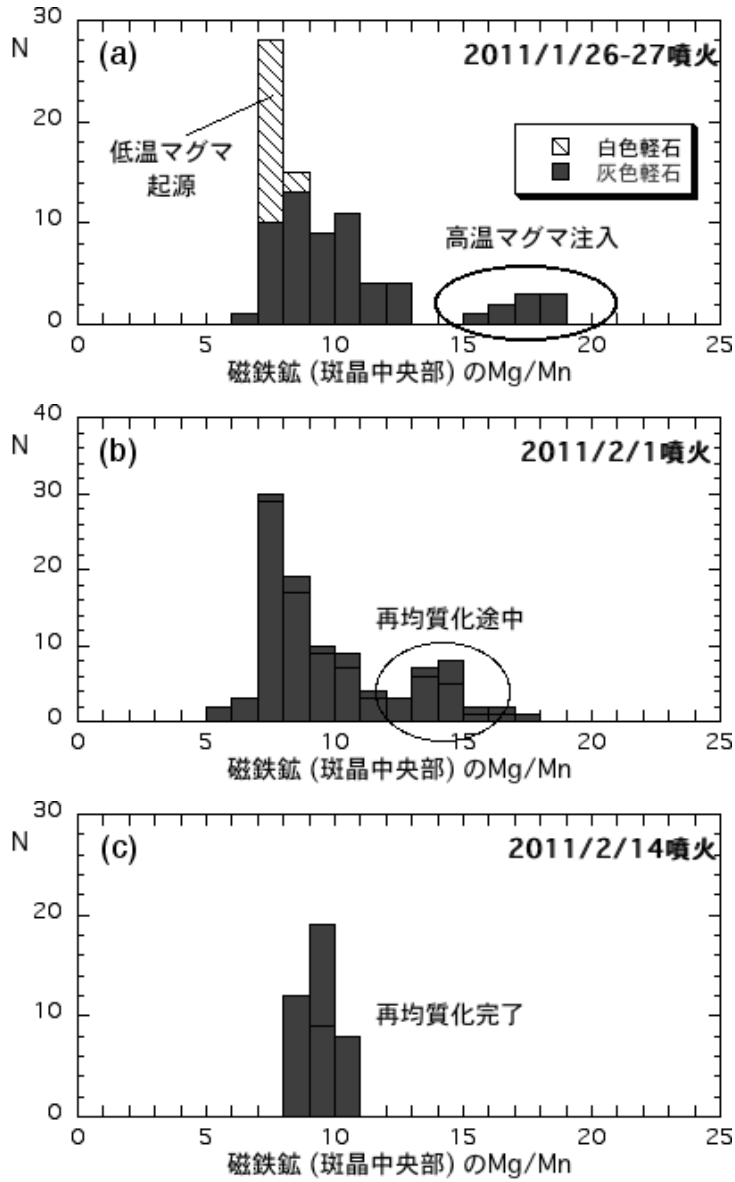
図中の矢印は、斑晶の中央部から縁に向かうゾーニングの方向を示す。

Fig.2 Classification of magnetite phenocrysts based on their core compositions.



第3図 1月26~27日準プリニー式噴火前後のマグマ過程

Fig.3 A schematic diagram of the magmatic processes before and during the January 26-27 sub-Plinian eruptions.



第4図 磁鉄鉱組成 (Mg/Mn) の時間変化

1月26～27日準プリニー式噴火では噴火直前の高温マグマ注入が明瞭である。一方、2月のブルカノ式噴火では直前の高温マグマ注入が見えず、時間とともに再均質化が進む。

Fig.4 Temporal change of magnetite compositions (Mg/Mn)