

組織解析から見る北海道白滝, 十勝石沢黒曜石溶岩のマグマ上昇過程 Magma ascent process inferred from textural analysis in Tokachi-Ishizawa obsidian lava, northern Hokkaido, Japan

佐野 恭平^{1*}, 寅丸 敦志², 和田 恵治³
Kyohei Sano^{1*}, Atsushi Toramaru², Keiji Wada³

¹九州大学大学院理学府 地球惑星科学専攻, ²九州大学 大学院理学研究院 地球惑星科学部門, ³北海道教育大学旭川校
¹Department of Earth and Planetary Sciences, Graduate School of Sciences, Kyushu University, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Faculty of Sciences, Kyushu University, ³Hokkaido University of Education at Asahikawa

Formation process of obsidian is poorly understood, while it is thought that gas loss (outgassing) plays an important role. Glass formation needs the high-effective supercooling resulted from a high ascent and decompression rates. However the high-effective supercooling increases magma viscosity, so the rapid ascending process of such a highly viscous magma is an enigma. In this study, we conducted textural and chemical analyses for Tokachi-Ishizawa (TI) obsidian lava, one of Shirataki rhyolite lava, Hokkaido, northern part of Japan, in order to elucidate the magma ascent and outgassing process, and obtain clues to solve the problem.

In Shirataki rhyolite lava area there are monogenetic volcanoes composed of 10 obsidian lava flow units, which were erupted at 2.2Ma. Rhyolite lava area with well-exposed outcrops allow us to observe the internal structure of obsidian lava flow. The stratigraphic sequence of TI lava 50 m in height is a brecciated perlite layer, obsidian layer (7m), banded obsidian layer, and rhyolite layer from the bottom. It is uncertain that brecciated perlite layer is essential. In this study, we define the obsidian and rhyolite based on the difference in appearance of specimen and rock texture, especially crystallinity. Rhyolite has perlitic cracks on glass, and contain the crystalline materials (i.e. spherulite and lithophysae). Banded obsidian layer which is located at the boundary between the obsidian and rhyolite layer, is composed of fine layer of obsidian and rhyolite. Volume fraction of the crystalline materials in rhyolite layer is up to 40 vol.%.

Obsidian in TI lava is almost aphyric, composed of glass (>98 % in volume), rare plagioclase phenocrysts, plagioclase microlites, magnetite microphenocrysts, oxide microlite, and rare biotite. The nanoscale crystals in obsidian glass are identified as plagioclase, based on transmission electron microscope (TEM) and field emission scanning electron microscopy (FE-SEM). This type of crystals forms microscopic layering structure in obsidian glass.

Chemical compositions of obsidian glass, plagioclase and magnetite were analyzed by electron microprobe (EPMA). Water content in obsidian glass was determined by Karl Fischer Titration (0.5-0.6 wt.%).

The maximum depth of magma chamber is estimated as <300MPa from the rhyolite-MELTS (Gualda et al., 2012) and petrographic characteristics. Magmatic temperature is calculated as $T = 800-820$ [deg C] from the plagioclase-melt geothermometer (Putirca, 2005). Magma viscosity is estimated as 4.9-8.7 [log Pa s] (Giordano et al., 2008).

We measured length, width and number of oxide microlite based on three-dimensional measuring method (Castro et al. 2003), and oxide microlite number density (N_v , [1/m³]) was obtained. From N_v value of oxide microlite, $10^{13}-10^{14}$, and glass chemical compositions, water exsolution rate and ascent rate are inferred as $10^{-8}-10^{-7}$ [wt.%/s], and $10^{-5}-10^{-4}$ [m/s] respectively (Toramaru et al., 2008). These results means that obsidian and rhyolite experienced the same degassing rate, that is, ascent rate. This provides a constraint on the formation process of obsidian.

キーワード: 黒曜石, 流紋岩, 組織解析

Keywords: obsidian, rhyolite, textural analysis

カルデラ形成噴火における複数珪長質マグマの同時生成と成層マグマ溜り：支笏および屈斜路火山を例として

Simultaneous generation of multiple silicic magmas and their zoned magma chamber related to a caldera-forming eruption:

中川 光弘^{1*}, 北川 淳一¹, 若佐 寛子¹, 松本 亜希子¹, 長谷川 健²

Mitsuhiro Nakagawa^{1*}, Jun-ichi Kitagawa¹, Hiroko Wakasa¹, Akiko Matsumoto¹, Takeshi Hasegawa²

¹ 北海道大学地球惑星システム科学, ² 茨城大学理学部地球環境科学コース

¹Earth & Planetary System Sci., Hokkaido Univ., ²Department of Earth Sciences, College of Science, Ibaraki University

カルデラ形成噴火のような大規模噴火では、大量の均質な珪長質マグマが主体であり、それに伴って少量の玄武岩～安山岩質なマフィックマグマが共存し、成層マグマ溜まりを形成し噴火に至ると考えられている。さらにその成因関係としては、マフィックマグマが熱源として地殻物質を溶融させ、珪長質マグマが生じるとするモデルが一般的である。しかしながら多くの大規模噴火では、親子関係のない、独立した複数の珪長質マグマが共存していることが明らかになってきた。本研究では VEI7 クラスの大規模噴火の例として 4 万年前の支笏カルデラ、および 12 万年前の屈斜路火砕流 4 (KpIV) の噴火のマグマ系を検討する。支笏カルデラ形成噴火のマグマは、軽石の斑晶量から肉眼的に容易に区別でき、流紋岩質マグマからなる A タイプ (Aphyric type) と安山岩～デイサイト質マグマからなる P タイプ (Porphyritic type) からなる。初期の噴火では A タイプのみが噴出し、最盛期～末期では A タイプに加えて P タイプも噴出している。この両者には混合関係がなく、それぞれが独立したマグマ溜まりを作っており、それらが同時噴火したと考えられる。さらに A タイプは SiO₂ 量のことなる 2 種の流紋岩質マグマの混合マグマである。この両者は Sr 同位体比で区別でき、両者には親子関係はない。また P タイプマグマは、それぞれ複数の安山岩質マグマとデイサイト質マグマの混合マグマである。したがって支笏カルデラでは、珪長質マグマとして 2 種の流紋岩質マグマと複数のデイサイト質マグマという、3 種類以上のマグマが共存した。それに加えてマフィックマグマとして複数の安山岩質マグマも存在した。屈斜路火山の KpIV 噴火でも噴出したマグマは、珪長質マグマが主体であり、それに少量の安山岩質なマフィックマグマが共存している。珪長質マグマは流紋岩～デイサイトまでの組成幅があり、それらは 2 端成分珪長質マグマの混合物である。さらに 2 端成分マグマは Sr 同位体比でも区別でき、支笏カルデラの場合と同様に、両者には親子関係はない。そしてこの混合マグマに複数のマフィックマグマが貫入して噴火している。このように大規模噴火の主体をなす珪長質マグマは単一ではなく、親子関係のない 2 種あるいはそれ以上の独立したマグマからなる。さらにこれらは大規模噴火前には、成層マグマ溜まりを形成している。珪長質マグマの成因として、マフィックマグマを熱源とした地殻の部分溶融が想定されているが、支笏あるいは屈斜路火山の例を見ると、複数の珪長質マグマをほぼ同時に生成するプロセスでなければならない。地殻の部分溶融の場合、地殻の不均質性から、同位体比および化学組成の異なる地殻物質が同時に溶融し、それらが複数の独立した珪長質マグマとなる場合が想定される。このプロセスは大規模な溶融の場合に特に顕著であることが想定でき、カルデラ形成のような噴火では、普遍的な現象かもしれない。

キーワード: マグマ, 珪長質マグマ, カルデラ噴火, 地殻溶融, マグマ成因論, 成層マグマ溜り

Keywords: magma, silicic magma, caldera-forming eruption, crustal melting, magma genesis, zoned magma chamber

微量元素の主成分分析を用いた東北日本仙岩地域の火成岩の分化経路の解析 Analysis of fractionation process of the volcanic rocks based on principal component analysis with trace element

上木 賢太^{1*}, 岩森 光²

Kenta Ueki^{1*}, Hikaru Iwamori²

¹ 東京工業大学火山流体研究センター, ² 東京工業大学地球惑星科学専攻

¹Volcanic Fluid Research Center, Tokyo Institute of Technology, ²Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

特に地殻が発達した島弧で火山岩の成因を議論する為には、分化プロセスを制約することが重要となる。全岩組成トレンドや鉱物組成などを解析することによって、結晶分化やマグマ混合の議論が広く行われてきた。主要元素は温度圧力条件による相平衡によって支配される為に非線形の要素を持つが、微量元素はメルト鉱物間の分配係数の温度圧力や含水量への依存性が小さい為、マグマ混合の議論や特定の相のトレーサーとしてよく用いられていて (e.g., Depaolo, 1981)、元素単体や、2 元素の比に着目した解析が広く行われて来た。しかし、岩石の化学組成は異なる相の分化や混染など多数の要因によって変化し得るため、複数の元素の関係性を取り扱う多変量解析が重要である。本研究では、主要元素、岩石学などでよく制約されている秋田駒ヶ岳と八幡平火山の噴出物を用いて、主成分分析を用いて微量元素組成の解析を行った。火山群内に近接して分布しているにもかかわらず、主要元素トレンドや組成幅、鉱物組成や構造において対照的な特徴を示すこれらの第四紀火山で、微量元素のバリエーションを支配する要因や主要元素との関係を議論した。

秋田駒ヶ岳では微量元素組成から 3 つの主成分が分解された。すべての成分は主要元素の含有量と良い相関を示す。関与する元素から微量元素の主成分の支配要因を解析した結果、3 つの成分はかんらん石、輝石、斜長石の異なる量比での分別結晶化による異なる 3 つの分化トレンドを表していることが分かった。この結果は主要元素と鉱物組成を用いた結晶分化モデルと整合的である。岩石学的観察でも大きな非平衡の証拠を示さないため、秋田駒ヶ岳の全岩組成のバリエーションは閉鎖系での結晶化と結晶の分離と移動で説明できる。

八幡平火山でも同様の解析を行った。八幡平火山の主要元素は安産岩からデイサイトの領域にかけてリニアなトレンドを示す。主要元素組成は斜方輝石、単斜輝石と斜長石の cotectic に位置する。一方、鉱物コア組成のバイモダル分布や累帯構造、非平衡な鉱物組成などからマグマ混合の可能性が示唆されている。八幡平火山でも 3 つの異なる微量元素主成分によって微量元素のトレンドが説明できることが分かった。成分 1 は、鉱物に分配される元素と液相濃集元素を結びリニアトレンドを示し、主要元素と良い相関を示す。このトレンドは地殻の部分融解または結晶分化で説明できる。成分 3 はクロムやニッケルに富んだ成分の関与を示し、Ohba et al. (2007) で指摘されたようなマントル由来のメルトの存在を示唆する。成分 2 として、主要元素とは相関を持たない微量元素成分が存在することが示され、主要元素には現れない組成バリエーションが存在することが分かった。

本研究の結果、微量元素の多変量解析を行うことで、主要元素、鉱物組成や観察を用いた分化トレンドの解析と同様の情報量を抽出して分解することができることが分かった。一方、主要元素とカップリングせず微量元素に影響を及ぼす独立したプロセスの存在が示唆された。

キーワード: 火山岩, 結晶分化, マグマ混合, 第四紀火山, 分化プロセス

Keywords: Volcanic rock, Crystal fractionation, Magma mixing, Quaternary volcano, Fractionation process

北部伊豆小笠原弧・大室ダシ火山の活動史解明 Volcanic history of the Oomurodashi, northern Izu-Bonin Arc

谷 健一郎^{1*}, 宿野 浩司¹, 平原 由香¹, 正木 裕香¹, Nichols Alexander¹, 石塚 治², Fiske Richard S.³, Cashman Katharine V.⁴, Leat Philip T.⁵, Carey Rebecca⁶, McIntosh Iona M.⁷, 尾上 彩佳⁸, 浅越 光矢⁹, 豊田 新⁹
Kenichiro Tani^{1*}, Hiroshi Shukuno¹, Yuka Hirahara¹, Yuka Masaki¹, Alexander Nichols¹, Osamu Ishizuka², Richard S. Fiske³, Katharine V. Cashman⁴, Philip T. Leat⁵, Rebecca Carey⁶, Iona M. McIntosh⁷, Ayaka Onoue⁸, Mitsuya Asagoe⁹, Shin Toyoda⁹

¹ 海洋研究開発機構, ² 産業技術総合研究所, ³ スミソニアン協会, ⁴ ブリストル大学, ⁵ British Antarctic Survey, ⁶ タスマニア大学, ⁷ ダラム大学, ⁸ 静岡大学, ⁹ 岡山理科大学

¹JAMSTEC, ²Geological Survey of Japan/AIST, ³Smithsonian Institution, ⁴University of Bristol, ⁵British Antarctic Survey, ⁶University of Tasmania, ⁷University of Durham, ⁸Shizuoka University, ⁹Okayama University of Science

大室ダシは伊豆大島南方約 20 km に位置する火山フロント上の高まりである。水深 200 m コンターで囲まれる山体の大きさは直径が約 20 km あり、伊豆諸島の八丈島に匹敵する規模である。大室ダシは過去のドレッジ調査で流紋岩質軽石が採取されていたものの（葉室ほか, 1983 震研彙報）、詳細な地質構造は不明であり、また水深約 100 ~ 150 m に広大な平頂部を持つことから活動的な火山とは考えられてこなかった。

しかし 2007 年、調査船なつしま NT07-15 航海において大室ダシ平頂部に存在する直径約 1 km の凹地（大室海穴）に無人潜水艇ハイパードルフィンを用いた潜航調査を実施し（第 719 潜航）、Stand-Alone Heat Flow Meter (SAHF) を用いた地殻熱流量測定を行ったところ、水深約 200 m の海穴底部で高い地殻熱流量（4,200 mW/m²）が観測された。またさらには海穴の南西壁は幾層もの新鮮な流紋岩質溶岩から構成されていることが明らかとなった。

この結果をふまえ、大室ダシの火山地質と火山活動史の解明を目的に、2012 年 7 月 ~ 8 月に調査船なつしま NT12-19 航海を実施した。本航海では未だ詳細な海底地形図が存在しない大室ダシ海域のマルチナロービーム海底地形調査とシングルチャンネル地震波構造探査を行って地形・表層地質構造を解明すると共に、ハイパードルフィン潜航調査を計 10 潜航実施し、地質観察・岩石試料採取・地殻熱流量測定を行った。

その結果、大室ダシの水深 200 m 以深の斜面は玄武岩質・流紋岩質の溶岩・貫入岩・火山碎屑物などの幅広い岩相から構成されていることが判明した。また地震波構造探査から大室ダシ平頂部の下には直径約 8 km の正断層が発達した陥没地形が確認され、埋没したカルデラが存在する可能性が明らかとなった。

大室海穴の東壁・南壁は新鮮な流紋岩質溶岩・軽石のブロックが堆積しており、また海穴周辺の平頂部も同様の溶岩片・軽石で一面覆われていることから、大室海穴を噴火中心として流紋岩質海底噴火が起こり、これらの火山碎屑物が周辺海域に堆積したと考えられる。

大室海穴周辺の新鮮な流紋岩は、大室ダシの平頂部以深の斜面で採取された流紋岩とは全岩化学組成において明瞭に液相濃集元素に富んでおり、同一マグマ起源ではないことが示唆される。

さらには今回の潜航調査によって大室海穴の底部一帯において活発な海底熱水活動を発見した。熱水噴出孔付近において計測した熱水温度は最高で 194 °C に達し、水深 200 m における沸点に近い高温熱水活動であることが判明した。噴出孔周辺ではチムニーやマウンドなどの熱水性沈殿物が確認され、採取に成功した。また海穴底部で SAHF を用いた広域的な地殻熱流量測定を行った結果、2007 年の測定時と同様に底部一帯で最大 29,000 mW/m² に達する非常に高い地殻熱流量が観測された。

これら一連の調査結果は大室ダシが流紋岩質の活火山であることを強く示唆している。また浅海における珪長質海底噴火はマグマ水蒸気爆発によって周辺海域に大きな災害を引き起こすリスクがあることから、今回得られた調査結果を踏まえて今後更なる調査を実施し、大室ダシ火山の噴火履歴を解明する必要がある。

三宅島火山の9-20世紀の噴火史

Eruption history of Miyakejima Volcano, in the 9-20th century

及川 輝樹^{1*}, 下司 信夫¹

Teruki Oikawa^{1*}, Nobuo Geshi¹

¹ 産総研・地質情報

¹ Geological Survey of Japan/ AIST

三宅島火山の八丁平カルデラ埋積後の9世紀以降の噴火史を、テフラ層序、¹⁴C年代測定、野外地質調査を組み合わせ、明らかにした。対象とした期間には、三宅島全島に、風早テフラ（6世紀）、9世紀のAD838の神津島-天上山テフラ、9世紀の雄山溶岩・雄山スコリア、AD886の新島向山テフラ、村営牧場テフラ（14-15世紀）などが全島に分布しており、それらが良い鍵層となって精緻なテフラ層序を編むことに成功した。従来の層序は、特に16世紀以前については、9世紀の向山及び天上山テフラの上位に位置するテフラについて、ただ「噴火す」とのみ記されている記録と対比していた。今回、すべてのテフラに対して¹⁴C年代測定を行うことによって、従来の古記録とテフラの対比は刷新された。多くの歴史記録との対比は誤りであった。9世紀以降は、100年に1~2回の頻度で噴火していたが、19-20世紀は100年に3回の頻度で噴火していた。その他明らかになったことは、9世紀の雄山溶岩・スコリアの噴火以降に200年ほど噴火のない時期があったこと、従来12-14世紀に想定されていた噴火休止期は無かったことなどである。また、9世紀以降すべての期間を通して、山頂噴火と共に規模の大きい山腹噴火をたびたび繰り返してきたことも明らかになった。

キーワード: 歴史噴火, ¹⁴C年代測定, 火山層序, テフラ層序学, 玄武岩質火山, 三宅島火山

Keywords: historical eruption, radiocarbon dating, volcanic stratigraphy, tephrochronology, basaltic volcano, Miyakejima Volcano

マントル起源 Opx を用いた初生マグマ組成の推定：香川県城山地域の HMA を対象として

Estimating accurate chemical composition of primitive magma by using mantle derived Opx: Targeting at the HMA in Kiyama

森里 文哉^{1*}, 飯塚 毅¹, 永原 裕子¹, 小澤 一仁¹

Fumitoshi Morisato^{1*}, Tsuyoshi Iizuka¹, Hiroko Nagahara¹, Kazuhito Ozawa¹

¹ 東京大学大学院理学系研究科

¹ School of science, the University of Tokyo

瀬戸内火山岩帯には高 Mg 安山岩 (HMA) と呼ばれる特殊な安山岩が産出する。Tatsumi (2006) は、岩石学的情報に基づいて瀬戸内火山岩帯の HMA がマントルカンラン岩と平衡な初生マグマであると主張し、融解実験に基づいてその生成条件を推定した。本研究で対象とした香川県城山地域の HMA は、様々な地殻 - マントル過程を経験していることから、これら諸過程の全貌を把握し、マントルから分離した真に初生的な HMA 質マグマ組成を推定することが必要である。

結晶分別作用を経験したマグマから、初生マグマ組成を推定するために、良く用いられるのは、平衡に晶出し分別されたカンラン石組成を分化したマグマに加えていって初生マグマ組成に戻す方法である (Tamura et al., 2000)。この方法では、関与したマントルのカンラン石の組成が未知であるために、その組成を、天然の結晶の組成情報を用いるとしても、仮定する必要がある (Putirka, 2005)。今回瀬戸内火山岩帯に産する HMA 中に、初生マグマ組成をそのリムに記録しているマントル起源の Opx 外来結晶を発見した。この情報を用いて HMA の初生マグマ組成をより正確に推定することができる。

戸内火山岩帯に属する香川県中部の城山 (Sato, 1982) を対象として、野外調査、薄片観察、XRF による全岩化学組成、EPMA による鉱物化学組成測定を行った。

城山地域の中部中新統である讃岐層群は Sato (1982) に従い、流紋岩質凝灰角礫岩およびデイサイト質火山角礫岩とそれらの上位のサヌキトイド溶岩流 (1, 2, 4) で構成されている。溶岩流 4 は斑晶組み合わせおよび全岩組成と外来結晶量によりさらに 3 種に区別できる。溶岩流 1, 2 が無斑晶質であるのに対し、溶岩流 2 はカンラン石と Opx 斑晶に富む。全岩組成分析により溶岩流 2 は HMA 質で Ni や Cr に富み (MgO : 8.6wt%, FeO*/MgO 分子比 : 0.4, Ni : 180ppm, Cr : 560ppm), 五色台のサヌキトイド溶岩流 (逸見ほか, 1976) と類似の結果を得た。

サヌキトイド溶岩流 2 は斑晶として、その中心組成が全岩と平衡な $Mg \# [=100 \times MgO / (MgO + FeO^*)]$ をもつ自形カンラン石と、全岩組成とは非平衡な $Mg \#$ をもつ自形短柱状ないしは他形で縁にカンラン石を伴う Opx を含む。カンラン石は正累帯構造を示し HMA 質のメルトから閉鎖系で晶出したと考えられる。Opx は逆累帯構造を示し、リムにおける高い $Mg \#$ (最大 92.2) と Cr_2O_3 濃度 (最大 1.2 wt%) からマントル由来の外来結晶であり、HMA マグマに取り込まれる前に融解度の高い初生的マグマ中に存在したことがわかる。また CaO を 1.4 wt.% 程度含み、QUILF (Andersen, 2008) を用いた計算により 1100 °C の最低温度が推定される。

Opx リムは初生マグマと平衡であったと考えられるので、HMA の元となった初生マグマ組成を推定した。カンラン石のメルトとの間の Mg-Fe 交換分配係数 (Beattie, 1993) を用いて、HMA と平衡なカンラン石の $Mg \#$ を計算しつつ、カンラン石を HMA に加えていって、Opx リムと平衡になった組成を初生マグマ組成とみなすと、初生マグマでも HMA 質となった。ただし、Opx が晶出する以前により $Mg \#$ の高いカンラン石が分別された可能性があり、より初生的なマグマが存在した可能性は残る。

他地域の HMA 中にも同様なマントル由来の Opx が見出されれば、この手法により初生マグマ組成を推定できる。

キーワード: 高 Mg 安山岩, 瀬戸内火山岩帯

Keywords: HMA, Setouchi Volcanic Belt

巨大カルデラ噴火と前駆噴火産物の岩石学的関係：阿蘇4噴火と始良噴火のケーススタディ

Petrological comparison between products of large caldera-forming eruptions and their precursory events

長谷中 利昭^{1*}, 黒川 聖¹, 山崎 秀人¹, 森 康²

Toshiaki Hasenaka^{1*}, Kiyoshi Kurokawa¹, Hideto Yamasaki¹, Yasushi Mori²

¹ 熊本大・院・自然科学研究科, ² 北九州市立自然史・歴史博物館

¹Grad School Sci. & Tech., Kumamoto Univ., ²Kitakyushu Museum of Natural and Human History

九州のカルデラ火山の巨大噴火の前駆現象, (1) 始良火砕噴火直前の一連のテフラ (2) 阿蘇-4 火砕噴火直前の高遊原溶岩の化学組成と巨大噴火マグマの化学組成を比較検討した (1) 2万9千年前の始良火砕噴火の3500年?1000年前に起った小規模な噴火, 大塚降下軽石, 深港テフラ, 毛梨野テフラ (長岡, 2001) の軽石の化学組成を分析した結果, 始良軽石とほとんど同じ組成であることがわかった. これに対して (2) 8万9千年前の阿蘇-4 噴火直前に流出した高遊原溶岩は, 阿蘇-4 初期の小谷軽石の組成よりは少しシリカに乏しい. 高遊原溶岩, 小谷軽石とも, 短いが明瞭な分化トレンドを示すが, 両者を結晶分化作用で関連づけることは難しい. 阿蘇-4 では噴火サイクル後半でマフィックマグマとシリシクマグマの混合が観察されているが (1)(2) の前駆噴火ともマフィックマグマの噴出は観察されていない.

Hildreth (1981) の概念図は地殻浅所の巨大なシリシクなマグマ溜りと地下深部から供給されるマフィックなマグマの関係をわかりやすく提示している. 非常にまれではあるが, 甚大な被害をもたらす巨大カルデラ噴火の予測をするための作業仮説を作る上で重要なたたき台である. 前述の前駆現象を検討し, Hildreth model に修正を加えてバージョンアップさせていくことは将来の巨大カルデラ噴火予測に備えて必要な作業であると考えられる (1) のケースは地殻浅所のシリシクマグマ溜まり上部の漏れ出しであると解釈できるのに対し (2) のケースは巨大シリシクマグマ溜まりから独立した枝分かれマグマ溜まりからの漏れ出しが起ったと推定した. いずれの場合も地下深部のマフィックマグマの存在は確認されていないが, 熱的な影響は検討する必要がある.

キーワード: 高遊原溶岩, 阿蘇カルデラ, 始良カルデラ, 阿蘇-4 火砕噴火, マグマ供給系, 前駆噴火

Keywords: Takayubaru Lava, Aso caldera, Aira caldera, Aso-4 pyroclastic eruption, magma supply system, Precursory eruption

Caに富む斜長石中の水素の拡散速度の決定 Determination of hydrogen diffusivity in Ca-rich plagioclase

浜田 盛久^{1*}

Morihisa Hamada^{1*}

¹ 東京工業大学地球惑星科学専攻

¹Department of Earth and Planetary Sciences, Tokyo Institute of Technology

目的

かんらん石や輝石といったマントル構成鉱物と比較して、地殻構成鉱物である長石中の水素の拡散に関する研究は非常に限られている。斜長石は、島弧玄武岩に最も普遍的に含まれる無水鉱物の一つであるため、火山岩中の斜長石中の水素の拡散は、島弧玄武岩マグマからの脱ガス現象の指標として応用できる可能性がある。そこで、本研究では、Caに富む斜長石中の水素の拡散実験を行った。また、得られた実験結果を、伊豆大島火山 1986 年山頂噴火の噴出物中の斜長石に適用した。

手法

斜長石中の水素の拡散速度を決定するため、本研究では、内熱式ガス圧装置を用いて、Caに富む斜長石の水熱実験を行った。実験時の圧力は 300 MPa、温度は 1000 から 1200 で、酸素雰囲気は NNO バッファーに制御した。実験時間は、1~10 時間であった。拡散速度を求めるため、本研究では、両面研磨した斜長石の単位厚さ当たりの赤外吸光度が、時間の経過と、斜長石のリムからの距離に応じてどのように変化していくかを調べた。

結果

斜長石結晶中の赤外吸光度のプロファイルから水素の拡散係数を求めた結果、1200 では約 10^{-11} m²/s であり、1000 では約 10^{-12} m²/s であった。これらの結果は、1 気圧 N₂ ガス雰囲気下で斜長石から水素が抜け出す場合の拡散速度の実験的制約 (Johnson, 2003) と調和的である。

応用

1986 年の伊豆大島火山山頂噴火で得られた斜長石斑晶 (組成はおおよそ An₉₀) の水素含有量は、最小で <50 重量 ppm H₂O、最大で 300 重量 ppm H₂O という OH 量のバリエーションを示す (Hamada et al. 2011, *EPSL*)。それぞれの斜長石の結晶内部において、水素含有量はほぼ均質である。山頂噴火におけるマグマの噴出温度 (1100) においては、斜長石中の水素の拡散速度は約 10^{-12} m²/s であることが、本研究での実験から得られた。この拡散速度を用いると、結晶内部に比較的高い水素含有量 (300 wt. ppm H₂O) を有する斜長石は、マグマが上昇を開始してから数時間以内に噴出して急冷されたために、リムの部分だけが水素を失ったと解釈される。実際、1986 年の伊豆大島山頂噴火の冒頭に観測されたマグマ噴出率 (>2 × 10⁵ m³/h) から、火道中のマグマ上昇速度は 10³ m/h のオーダーであったと見積もられ、水素含有量のプロファイルから推定されるマグマ上昇速度と整合的である。このように、斜長石結晶中の水素の拡散速度は、水に富む島弧玄武岩マグマが爆発的不噴火をする際のマグマ上昇速度計として有用であると考えられる。

キーワード: 無水鉱物の水, 斜長石, 水素の拡散速度

Keywords: Water in nominally anhydrous minerals, plagioclase, Hydrogen diffusivity

マグマの固相は剛体球近似が可能なのか

Is magma modeled as a hard-sphere suspension or soft-sphere suspension?

黒川 愛香^{1*}, 栗田 敬¹

Aika Kurokawa^{1*}, Kei Kurita¹

¹ 東京大学地震研究所

¹ Earthquake Research Institute, University of Tokyo

Magma is known as a complex fluid composed of three phases; silicate-melt, crystals and gases. Generally the rheology of suspension changes drastically depending on the mutual volume fraction from gaseous behavior to solid one. The rheology of magmatic system consisting of crystals and silicate melt has been modeled via hard-sphere suspensions such as a mixture of glass beads and viscous fluid. With respect to such solid-liquid system, [A. A. Arzi, 1978] introduced an important concept, Rheological Critical Melt Percentage (RCMP) 20%, which separates solid behavior and liquid behavior. RCMP is understood as a kind of jamming transition and important value since it predicts freezing rheologically above the thermodynamic freezing point. But even at larger melt percentage than RCMP, another type of significant change in the magmatic rheology has been clarified experimentally. That is the emergence of yield strength at the crystal volume fraction of around 20%. From this critical value to (100% - RCMP), magma behaves as a yield stress fluid. On the other hand, models for simple hard-sphere suspension predict this behavior at much higher volume fraction of approximately 60% e.g. [M. Otsuki et al., 2010]. Thus the range in which hard-sphere suspension behaves as a yield stress fluid is quite limited compared to laboratory-determined magmatic rheology. This is because the shape of silicate crystals in magma is generally elongated, which should be modeled as prolate or oblate ellipsoids with high aspect ratio and crystals in magma can easily form networked structures known as crystal clots, crystal cluster, synneusis, crystal chain and so on even if the particle volume fraction is small. Therefore to estimate effective volume fraction, the excluded volume should be considered [A. P. Philipse, 1996].

In this presentation we discuss whether the hard-sphere suspension is an adequate model for the magma and what are needed for proper modeling. Although individual silicate crystals are hard enough in the time scale of magma dynamics, the networked structure of crystals is quite weak and it easily breaks upon flowing stress. Yield stress emerges during breakage of the network. To look at this behavior, we consider the system should be composed of soft-sphere instead of hard-sphere, where widespread repulsive potential as well as a kind of attractive potential are needed.

We utilized an analog material, a polymer, p-NIPAM to conduct rheology characterization of suspension to see complex behaviors of magma by the deformability associated with the networked structures. In a series of our model experiments, firstly it was revealed that p-NIPAM aqueous suspension has the critical volume fraction, which is almost equivalent to that of magma. This indicates p-NIPAM aqueous suspension can be an analogue of magma to see complicated behaviors in magma caused by networked structures of crystals. At the same time it was found that this suspension has a multiplicity relationship between shear stress and shear rate and this multiplicity and the yield stress are inextricably linked together via aging effect. We consider this should be a universal characteristic for two-phase mixture system such as suspension, which has networked structures. Since magma suspension is known to have the yield stress and the networked structures of crystals empirically, this result indicates that magma can possess the multiplicity, which can trigger self-induced oscillation phenomena.