

富士火山の下でのマグマと H₂O フルイドの間の超臨界現象

Supercritical Behaviors Between Fuji 1707 Magmas and H₂O fluids

研究代表者 京都大学大学院理学研究科附属地球熱学研究施設 助手 川本 竜彦
Institute for Geothermal Sciences, Graduate School of Science, Kyoto University
Assistant Research Professor, Tatsuhiko Kawamoto

和文要旨

外熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いて、火山の下の高温度高圧力条件において、マグマや水を直接観察する手法を確立した。この手法を用いて、富士火山の 1707 年の噴火によって噴出したデイサイト (70%SiO₂) と安山岩 (60%SiO₂) マグマと、H₂O フルイドが、お互い完全に固溶し超臨界条件になることを観察した。このことは、富士火山直下の低周波地震の震源付近で動いているものが、H₂O フルイドなのか、マグマなのか区別できないことを示している。1707 年噴火の最後の噴出物は玄武岩 (50%SiO₂) であるが、ダイヤモンドアンビルセルで実験可能な温度 1050 °C では超臨界現象は確認できなかった。

Abstract

A series of direct observation of complete miscibility between H₂O fluids and island arc andesite/rhyolite magmas has been conducted using Bassett's type externally heated diamond anvil cell. The supercritical behavior are observed between H₂O fluids and Fuji 1707 magmas with chemical compositions from andesite (60 weight % SiO₂) to rhyolite (70 % SiO₂). Such a supercritical behaviour between H₂O fluids and magmas equilibrated with mantle peridotite system remains uncertain. This study is the first observation of a supercritical behavior of natural andesite and rhyolite with H₂O fluids, suggesting a possibility of the second critical point between magmas and aqueous fluids beneath the volcanoes.

1. 研究目的

高温度高圧力条件での水を含んだマグマ (ケイ酸塩溶融体) の化学構造を知ることは地球惑星の物質進化における最も基本的な問題である。地球内部でマグマが発生する場合、多かれ少なかれマグマ中には H₂O が含まれる。H₂O はソ

リダス温度を低下させるだけではなく、シリケイトを多く溶かし込む。最近、アルバイトメルトなどのシリケイトメルトと H₂O の混和現象が報告されている (Shen and Keppler 1995 Nature, Bureau and Keppler 1999 Earth Planet Sci Lett)。このような混和現象が地球内

部でも起こっているとすると、ソリダス温度の定義を変更する必要が生じる。本研究は、外熱式ダイヤモンドアンビルセルを利用して、天然の安山岩と流紋岩と H₂O との間での完全混和現象が起こるかいなか、起こるとすればどのような温度圧力条件で起こるのかその場観察によって決定することを目的とし実験的研究を行った。

2. 研究経過

2.1 道具

実験に用いたバセット型外熱式ダイヤモンドアンビルセル(DAC)は、ダイヤモンド全体を加熱するため小さな温度勾配を有するダイヤモンドアンビルセルである (Figure 1)。

このセルは2個のブリリアントカットされた0.15カラットのダイヤモンドをタングステンカーバイド(WC)製の台座にMgOを主体としたセメント(以下セメントと呼ぶ)で固定する。WCの台座には60度の開口がなされている。そのWC製の台座の周囲に、セメントで電気的絶縁を施した上で、直径0.25mmのモリブデンのワイヤーを巻き付け、セメントで外側を固定する。2個のダイヤモンドには、それぞれクロメル-アルメル型熱伝対を接触させ、セメントで固定している。2個のダイヤモンドに対応する2台の直流安定化電源を用いて、モリブデンのワイヤーに電流を流すことで温度を上げる。それぞれのダイヤモンドの温度が一定になるように、ヒーターに流す電流をコントロールする。セルの内部には、アルゴン-2%水素の混合ガスを流す。このガスによって、ダイヤモンドとセルを構成する金属の酸化を防いでいる。

ダイヤモンドは1050を超えると急速にグラ

ファイト化するが、1000よりも低温では比較的容易に実験を行うことが可能である。ガスケットにはレニウムを使用し実験を行っている。実験圧力は現在のところ、約6GPa(60kb, 6万気圧)以下である。

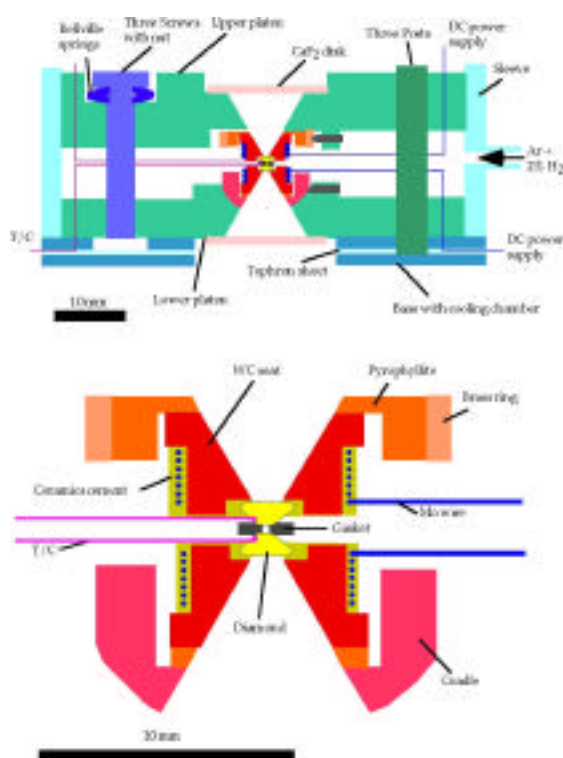


Figure 1. Plan of Bassett's type externally heated diamond anvil cell.

2.2 出発物質の合成

富士火山が最後に噴火したのは1707年であり、その時の噴出物は、噴火の進行とともに化学組成を変化させていった。まず、カルクアルカリ流紋岩が噴出し、その後、安山岩、最後に玄武岩を噴出している。この噴火は密度成層したマグマ溜まりからの上部から噴出したと考えられている。富士火山の1707年の噴出物であるカルクアルカリ岩質安山岩(60% SiO₂)と流紋岩(70% SiO₂)に2wt.%の水を加えたガラスをピ

ストーンシリンダーで作成した。

2.3 その場観察実験

作成した安山岩(60% SiO₂)と流紋岩(70% SiO₂)のガラス片をそれぞれ水とともに DAC に封入し加熱した。安山岩は約 1GPa、950 で完全な一相の流体がえられ、これ以下の温度では全体がパール状に「もやもや」し二相に分離した。臨界現象は圧力増加とともに低温度で起こると考えられるので、1GPa (およそ 30km) よりも深く 950 よりも高温のところでは、H₂O を含んだ安山岩質メルトとシリケイトを溶かし込んだ H₂O フルイドの区別はなくなる。Figure 2 に 900、1GPa での H₂O のマトリックス中に球状に分布する安山岩メルトと結晶共存している写真を示す。また、流紋岩(70% SiO₂)は、より低い 800 で H₂O と完全混和する。このことは、これまで単純系でシリカ量と臨界温度が逆比例すると提案されてきたやや強引な仮説 (Bureau and Keppler 1999 Earth Planet Sci Lett) と正反対の結果である。

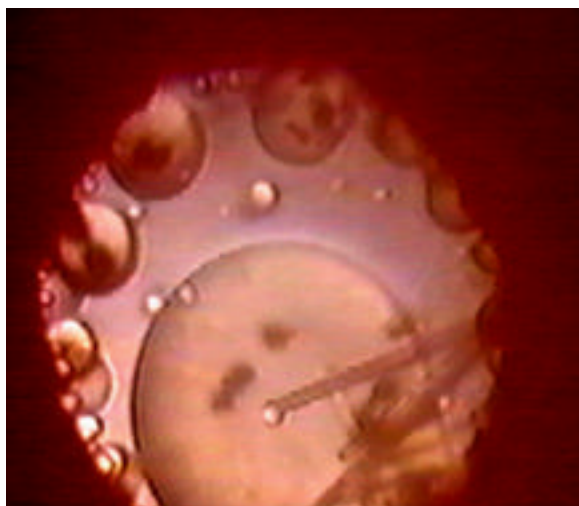


Figure 2 Photograph of andesite melt and crystals in H₂O fluid at 1 GPa and 900 °C. 0.6mm x 0.5mm.

3. 研究成果

富士火山の 1707 年の噴火によって噴出したデイサイト (70%SiO₂) と安山岩 (60%SiO₂) マグマと、H₂O フルイドが、お互い完全に固溶し超臨界条件になることを観察した。

地球内部において、H₂O とマグマが同一相になってしまうということは地球内部の物質進化を考える上で貴重な情報である。従来の考え方では、地球内部を構成する固体 (岩石) が温度の上昇、または、圧力の低下によって、「ソリダス温度」を超えると、部分融解が始まり、それがマグマの生成であると理解していた。H₂O が加わると成分の数が増えるため、この「ソリダス」温度が低下しマグマはより低温度で発生すると考えられた。しかし、H₂O とマグマが混和する条件があるということは、ある温度になると、H₂O 中に溶け込むシリケイト成分 (マグマの主成分は珪酸塩、シリケイトである) が急に増大するというを示している可能性がある (Figure 3)。このことは、富士火山直下の低周波地震の震源付近で動いているものが、H₂O フルイドなのか、マグマなのか区別できないことを示している。

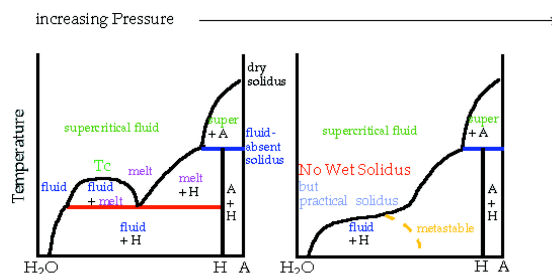


Figure 3. Schematic phase diagrams in the system of mineral A and H₂O. H is a hydrous mineral.

もし、そういうことが天然で一般的に起こっていると仮定すると、もはや、 H_2O を含む条件での「ソリダス」温度というものは意味をなさなくなる。つまり、ある温度になると、 H_2O にどんどんシリケートが溶け込んでいって、マグマが発生するということになる。今後、マグマの組成と混和現象の起こる温度圧力条件を更に理解していくことが重要である。

3-4 今後の課題と展望

外熱式ダイヤモンドアンビルセルは完全な静水圧性と数度C以下の小さな温度勾配を有する理想的な高温高圧発生容器であり、マントル深部条件でマグマを直接観察することを可能にする道具である。ダイヤモンドは広い波長領域で透明であるため、X線、可視光、赤外線を用いて実験を行うことが可能である。また、本研究によって確立された実験手法は、地球内部科学分野のみならず、広く物性測定を目的とする実験に用いることが可能である。今後、高温高圧条件におけるその場観察によって、これまで急冷回収実験では得ることの出来なかった実験データを得ることができ、地球内部科学や物性研究の進展に繋がると確信する。

最後に、本研究によって用いたDACの温度に対する制約条件に付いて述べる。実験に用いた安山岩よりもMgOの高いマグマ(玄武岩)は、加熱中に結晶してしまい、1050以下の温度で再溶融できず、過冷却状態のメルトを得ることはできない。つまり玄武岩をこの方法によってメルトにすることは出来ない。ダイヤモンドを1100以上に加熱すると急速にグラファイトに相転移してしまう。より高温で実験する

ためには、次の3つの方法が考えられる:(1)内熱式加熱。試料の周辺のみ局所的に加熱することで1気圧にさらされているダイヤモンド自身を1000以下に保つ。(2)レーザー加熱。炭酸ガスレーザーなどを試料に照射することで加熱する。試料とダイヤモンドの間には断熱材を置き、ダイヤモンドに熱が奪われないように工夫する。ただしこれら2つの方法では、数100以上の温度勾配を避けることができない。(3)ダイヤモンドに代わる物質を探す。その物質は、高温でも硬く(SiCでも柔らかすぎない)、シリケートメルトと反応せず、透明であることが要求され、立方晶ホウ化ケイ素が望ましいが、大きな単結晶を作成するのが困難と聞く。

5 論文リスト

1. Kawamoto, T., Kagi, H., Yamashita, S., Matsukage, K., Handa, T., Ikemoto, Y., Moriwaki, T. Kimura, H., Mid infrared throughput with 5 mm aperture for H_2O determination of an andesitic glass: Comparison of synchrotron radiation source at SPring-8 with conventional light sources. *Geochemical Journal*, 37, 253-259 (2003)
2. Kawamoto, T., Hydrous phase stability and partial melt chemistry of H_2O -saturated KLB-1 peridotite up to the uppermost lower mantle. submitted to *Recent Developments in High-Pressure Mineral Physics and Applications to the Earth's Interior*. (投稿中)
3. Kawamoto, T., Matsukage, K., Mibe, K., Nishimura, K., Isshiki, M., Ishimatsu, N., S. Ono, Direct observation of Mg/Si ratios of aqueous fluids in the Earth's upper mantle. submitted to *Earth and Planetary Science Letters*. (投稿中)