

平成22年 4月16日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2009

課題番号：20740303

研究課題名（和文） マグマ溜まりの熱進化の実証的・定量的解明

研究課題名（英文） Quantitative understanding of thermal evolution of magma chambers

研究代表者 栗谷 豪（KURITANI TAKESHI）

東北大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：80397900

研究成果の概要（和文）：本研究は、マグマが熱・物質的に進化するメカニズムを定量的に理解することを目的として行われた。その結果、結晶化が進行するマグマ内において、気泡の多少がマグマの組成進化に影響を与えることを明らかにし、またマグマの組成進化のメカニズムとして、均質分化（マグマ溜まり主要部の結晶の沈降）と境界層分化（マグマ溜まり周縁部からの分化液の混入）が起きる条件を明確にした。さらに、アイスランドの Askja 火山において、玄武岩質マグマの熱・組成進化の速さを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：This study has been carried out to understand the mechanism of the thermal and chemical evolution of magma chambers. Thus, the following conclusions were reached: 1) Chemical differentiation trend of magmas can be affected by the amounts of bubbles. 2) In basaltic magma chamber, boundary layer fractionation can be important relative to homogeneous fractionation when magmas are hydrous and the magma chambers are located at depth. 3) It took ~3000 yr for basaltic magma to evolve to andesite at Askja volcano, Iceland.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：岩石学

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：火山・マグマ・地殻・マントル・熱進化・モデル化

## 1. 研究開始当初の背景

低温の地殻内に高温のマグマが定置すると、マグマは周縁部から冷却されて結晶化が進行する。このような、マグマから地殻への不可逆的な熱輸送の結果、マグマ溜まり内で

は様々な密度不安定が生じ、熱対流や組成対流といった熱や物質の移動が自発的に起きる。そしてそれらの過程がカップリングしながら、その結果としてマグマは熱や物質的に進化する。

このように、マグマ溜りの熱進化は自然対流現象と深く関わっているため、これまで流体力学的手法に基づく研究が盛んに行われてきた（例えば Huppert & Sparks, 1988; Kerr et al., 1990; Hort et al., 1999; Kaneko & Koyaguchi, 2004）。流体力学的手法は、現象を支配する要素を明確にすることができるという利点がある反面、天然に適用する際に、理論的解析の結果がモデルに依存する可能性があり、現にマグマ溜りの熱史については、モデルによって冷却速度に10倍以上の違いが存在する。このため流体力学のモデルは、常に天然の観察事実に基づく検証作業が不可欠となる。しかしマグマ溜りの熱進化については、これまでのところ、モデルの検証を行うことができる情報がほとんど天然から引き出されていない。このため、マグマ溜りの熱進化については、定量的かつ実証的な理解が停滞している、というのが現状である。

## 2. 研究の目的

地殻内にマグマが定置して形成されるマグマ溜りは、どのくらいの速さで冷却するのか？マグマ溜りの熱進化は、マグマの物質的な進化（＝地表に噴出するマグマ組成の多様化）の速さや、マグマからの熱流束に伴う地殻の熔融によって生成する花崗岩質なマグマの生成量を直接支配する。このようにマグマの熱的進化は、地殻の化学的分化や、火山活動の長期的予測を念頭においた、活火山下のマグマ溜りの状態変化を定量的に理解する上で、最も本質的な過程のうちの一つである。しかしながら、これまでのところ十分な理解が進んでいない。そこで本研究では、これまで理解が進まなかった要因を踏まえ、マグマの熱史についての情報を天然から抽出し、さらに質量やエネルギー保存則の制約を利用して、マグマ溜りの熱進化についての実証的かつ定量的な理解を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

上述の背景を踏まえ、本研究では、天然の観察事実から理論的考察に耐えうる情報を引き出し、その情報を流体力学のモデルの検証に活かしながらマグマ溜り内のダイナミクスの定量的理解をすすめる、というアプローチをとる。具体的な問題設定、及び到達目標は以下のとおりである。

マグマ溜り主要部と天井部の固液境界層との境界部には、密度的に不安定な熱境界層が形成され、その不安定性を駆動力として主要部マグマ内で熱対流が発生する。そして、マグマがどのくらいの速さで冷却するのかは、基本的に熱対流による熱流束の大きさに支配される。また、珪酸塩マグマは、リキダス温度とソリダス温度との間に数百度程度

の差があるため、マグマ溜まりが冷却すると、周縁部には固相と液相の共存領域（固液境界層）が形成される。そしてマグマ溜まりの熱進化は、固液境界層中のメルトとマグマ溜まり主要部の高温のメルトとの交換という形で進行する組成対流によっても、大きな影響を受けることが予想される。そこで本研究では、以下のアプローチを通して、マグマの熱進化過程を定量的に理解することを到達目標とする。

(1) マグマ溜り内における固液分離の進行過程の直接的理解：厚い溶岩流をマグマ溜まりの模擬版として捉え、溶岩流内で冷却中に進行する固相と液相の分離過程を考察し、定量的に理解する。

(2) 天然観察に基づくマグマ溜り内の熱史情報の抽出：マグマの熱史情報が天然観察から十分に引き出されていないという現状を踏まえ、マグマ溜り内でのマグマの冷却過程の情報を記録している火山噴出物を対象に、岩石学的・年代学的・理論的手法を駆使して、熱史の情報の抽出を試みる。

(3) 熱対流と組成対流の相互作用の理解：冷却が進行するマグマ溜り内では、均質分化作用（マグマ溜り主要部での結晶分化作用；主に熱対流が支配）と境界層分化作用（固液境界層由来の分化液が主要部マグマに混入することによって引き起こされる分化作用；主に組成対流が支配）とが同時に進行するため、これらの相互作用について定量的に考察する。

## 4. 研究成果

まず(1)については、利尻島において野外調査を行い、厚さ約6mの溶岩流から70を超える岩石試料の採取を行った。試料の全岩化学組成を解析した結果、溶岩流の上部と下部に、部分溶融体からの液相の分離によってそれぞれ形成された segregation layer と segregation cylinder は、大きく化学組成が異なっていることが明らかになった。これは、溶岩流の上部では、斜長石・単斜輝石・カンラン石から成る結晶の framework から液相が抽出されたのに対し、溶岩流の下部では、底部からの冷却に伴って濃集した気泡の存在により、カンラン石が結晶の framework に取り込まれることができず、斜長石・単斜輝石から成る framework から液相+カンラン石が抽出されたためであることが分かった。以上の結果から、気泡の有無によってマグマの分化トレンドが大きく変化する可能性を明らかにした。

(2)については、噴出年代が明らかになっているアイスランド・アスキヤ火山の岩石を対象に、マグマの組成進化の時間スケールの推定を行った（データは岡山大学地球物質科学研究センターで過去に分析したものを使

用)。U-Th-Ra 系の放射壊変・結晶分化作用・地殻物質の混染作用を考慮した質量保存モデルを構築して、岩石が示す化学組成の多様性を検討を行った結果、玄武岩質マグマからアイスランドイト質マグマまで、約 3000 年程度の時間をかけて組成進化した可能性が高いことを明らかにした。しかし、マグマ系が閉鎖系ではなく、開放系に近かったことが推測されたため、マグマの進化に関わる定量的な情報の抽出は、将来に持ち越されることとなった。

(3) については、マグマ溜まり内で同時に進行する均質分化作用と境界層分化作用との相互作用について、マスバランスモデルと多成分系熱力学モデルを組み合わせたモデルを構築して、考察を行った。その結果、マグマの含水量が約 2 wt. % 以上で、かつマグマ溜まりの圧力条件が約 100 MPa 以上の場合に限り、境界層分化が主要な分化メカニズムになることが明らかになった。このことから、例えば含水量が高い島弧マグマが比較的地下深部にマグマ溜まりを形成した場合には境界層分化が主要になるが、中央海嶺玄武岩マグマやプレート内マグマの場合、もしくは島弧マグマでもマグマ溜まりが地下浅部にある場合には、均質分化が主要な分化メカニズムになることが分かった。

#### 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 3 件)

(1) Kuritani, T., Kimura, J.-I., Miyamoto, T., Wei, H., Shimano, T., Maeno, F., Jin, X. and Taniguchi, H., Intraplate magmatism related to deceleration of upwelling asthenospheric mantle: implications from the Changbaishan shield basalts, northeast China. *Lithos*, 112, 247-258, 2009. (査読有)

(2) Kuritani, T., The relative roles of boundary layer fractionation and homogeneous fractionation in cooling basaltic magma chambers. *Lithos*, 110, 247-261, 2009. (査読有)

(3) Kuritani, T., Yokoyama, T. and Nakamura, E., Generation of rear-arc magmas induced by influx of slab-derived supercritical liquid: implications from alkali basalt lavas from Rishiri Volcano, Kurile Arc. *Journal of Petrology*, 49, 1319-1342, 2008. (査読有)

[学会発表] (計 8 件)

(1) Mizobuchi, F., Kuritani, T., Yoshida, T., Miyamoto, T., Nagahashi, Y. and Taniguchi, H., Water content in intraplate basaltic magmas from the Longnag area, NE China, American Geophysical Union 2009 Fall Meeting, San Francisco, December 14, 2009.

(2) 栗谷 豪, 木村 純一, 宮本 毅, 魏 海泉, 嶋野 岳人, 前野 深, 金 旭, 谷口 宏充, 中国北東部・白頭山地域の台地玄武岩マグマの成因, 日本鉱物科学会 2009 年年会, 札幌, 2009 年 9 月 9 日.

(3) 栗谷 豪, 玄武岩質マグマ溜まりにおける境界層分化作用と均質分化作用の相対的重要性, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 千葉, 2009 年 5 月 17 日.

(4) 松井 るり子, 中村 美千彦, 吉木 佳奈, 栗谷 豪, 吉田 武義, 鈴木 由希, 長橋 良隆, 伊豆諸島新島・式根島火山のマグマ供給系の岩石学的研究, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 千葉, 2009 年 5 月 17 日.

(5) 溝淵 文彦, 栗谷 豪, 吉田 武義, 宮本 毅, 長橋 良隆, 谷口 宏充, 中国北東部・長白山地域に産するマントル捕獲岩の記載岩石学的研究, 日本地球惑星科学連合 2009 年大会, 千葉, 2009 年 5 月 16 日.

(6) Kuritani, T., Yokoyama, T. and Nakamura, E., Generation of rear-arc magmas induced by influx of slab-derived supercritical liquids beneath Rishiri Volcano, Kurile Arc, American Geophysical Union 2008 Fall Meeting, San Francisco, December 13, 2008.

(7) 栗谷 豪, 玄武岩質マグマの組成進化: 均質分化と境界層分化の相対的重要性, 日本鉱物科学会 2008 年年会, 秋田, 2008 年 9 月 20 日.

(8) Kuritani, T., Kimura, J.-I., Miyamoto, T., Shimano, T., Maeno, F., Wei, H., Jin, X. and Taniguchi, H., Geochemistry and geochronology of Gaima basaltic lava plateau, northeast China, Goldschmidt Conference, Vancouver, July 17, 2008.

[その他]

ホームページ等

<http://www.ganko.tohoku.ac.jp/touko/kuritani/index.html>

#### 6. 研究組織

(1)研究代表 栗谷 豪 (KURITANI TAKESHI)  
東北大学・大学院理学研究科・助教  
研究者番号：80397900