

平成 30 年 5 月 24 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05337

研究課題名(和文)地殻内マグマ溜まりの熱進化過程における時間変遷

研究課題名(英文)Solidification process of crustal magma chamber

研究代表者

志村 玲子 (Simura, Rayko)

東北大学・多元物質科学研究所・助教

研究者番号：90420009

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：納沙布岬貫入岩体の貫入時に液体であった部分の結晶化過程について、薄片解析装置を構築して研究を行った。薄片解析装置は試料ステージを固定し、試料板上下の偏光板を同期して回転できるシステムとし、偏光角度を変化させて撮影した複数枚の画像の合成・解析が容易になるような機構とした。解析はImageJ, Pythonなどを利用して計算し、レタレーションと主軸の方位の解析を行えるシステムとした。本装置により、特に、岩体下部のデータを詳細に計測し、CSD解析を行ったところ、下部の冷却は熱伝導冷却と調和的であることが判明した。斑晶含有型マグマ溜まりの最下部は熱伝導冷却が支配的であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Crystal size distributions of groundmass minerals of the Nosappumisaki intrusion were analyzed using a polarization film rotating thin section observation system. This system produces maps of mineral retardation and primary-axis direction in thin section samples. Mineral types observed in thin sections were identified using the generated retardation maps, and the grain boundaries were delimited using primary-axis direction maps. The data reveal that there is a systematic variation in the crystal sizes of constituent alkali feldspar (plagioclase), biotite, and magnetite that suggests solidification by thermal conduction originating near the lowermost contact surface with the host rock, and proceeding toward the inner region of the Nosappumisaki magma chamber.

研究分野：結晶科学

キーワード：板状貫入岩体 岩石組織 偏光顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

「マグマ溜まり」は、ケイ酸塩などの固体地球の構成物質の溶融体、または、溶融体と結晶の固液混合物である。温度圧力履歴や化学反応履歴に応じて、様々な化学組成と組織構造を持った物質を生成する場となり、原子スケールからフィールドスケールまで多様な構造を持った集合体を生成する。このような「多様性」を系統的に解析し、その履歴を明らかにすることは、固体地球形成過程の理解へとつながる重要な鍵となっている。

マグマ溜まりから噴出された溶岩・火山灰はマグマ溜まりからの噴出による間欠的なサンプリングであり、それらの情報からマグマ溜まり分化の時間変遷を追うことができる。しかし、分化におけるマグマ溜まり内部の空間的な変遷に関しては、マグマ溜まり化石である貫入岩体からの空間的情報が欠かせない。最近の貫入岩体の研究では、マグマ溜まりへ注入されるマグマが定置前に別の場所で生じた「斑晶」を伴っていると、その斑晶の移動により全岩組成の組成幅が大きくなり、見かけ上、貫入岩体中の分化が大きくなることが示唆されている。そのため、実際のマグマ溜まりの「その場での分化」の情報を知るためには、「斑晶」の移動の効果を取り除く必要がある。「斑晶」を取り除いた「粒間部」の岩石組織は結晶粒子が微細であることが多く、その鉱物粒子の解析には、手法的な困難さがあった。

岩石は鉱物の集合体であり、様々な種類や量比で多様なサイズの鉱物を含んでいる。鉱物の存在比は、一般に偏光顕微鏡での観察とモード測定器を用いて求め、サイズ分布や結晶の形状、配向性などの情報は、電子プローブマイクロアナリシス (EPMA) による組成マッピング情報や電子後方散乱回折 (EBSD) などの取得データを処理したり、薄片写真を撮って粒子をトレースしたりする方法で測定される事が多く行われてきており、時間や経費のかからない手法が望まれていた。

2. 研究の目的

本研究で扱う納沙布岬貫入岩体は、「斑晶」の移動の効果を取り除いた「その場での分化」が実際に起きていることが示された重要な研究対象の一つである。岩体下部には特徴的な「斑晶」の集積層が存在し、この集積層の粒間部分が岩体全体の分化の源になっている。これまでの研究により、その場での分化過程の時間順序関係が明瞭になっているため、本研究ではさらに時間刻みを入れて、マグマ溜まりの時間的空間的な変化に制約を与えることが目標である。

そのために、大きな装置を利用すること無く大気下で容易に画像データを取得し、取得データの解析によりモードやサイズを計算するシステムを構築した上で、完成したシステ

ムを適用して上記目標を達成することを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、手法の探索を行い、最終的には偏光顕微鏡と同様の仕組みを利用した以下の2つの手法を用いて、マグマ溜まり解析を行った。

1) レタレーション範囲 0-3000nm をカバーする偏光カメラを利用し、これにより取得したデータから、モード組成とサイズ分布の解析を行った。偏光カメラは、Photonic Lattice 社製の偏光カメラシステムを使用した。装置の CCD は複数素子をつなげた素子集合体として受光するようになっており、集合体の各素子にはそれぞれ方向の異なる偏光素子が接着されている。円偏光を試料に当て、透過光を素子集合体で受光してデータ解析することで、透過光のレタレーションとその主軸方向を出力するシステムとなっている。

2) 偏光板と接写カメラを利用し、偏光板角度を自在に調整して (薄片は回転させず固定したまま) 薄片全体のクロスニコルズ写真を撮影できる装置を設計・試作し、本装置によって得られた複数画像を合成して、モードとサイズ解析を行うシステムを構築した。いずれのシステムでも、レタレーションデータを基にして鉱物識別を行い、粒子解析には ImageJ を使用して、分布を求めた。

装置完成後のマグマ溜まり解析用の試料には納沙布岬貫入岩体の薄片を使用し、特に下部の母岩接触面から岩体内の高さ 1m の範囲までの間の連続したコアサンプルは顕著な粒子変化があるため、詳細に解析を行った。

4. 研究成果

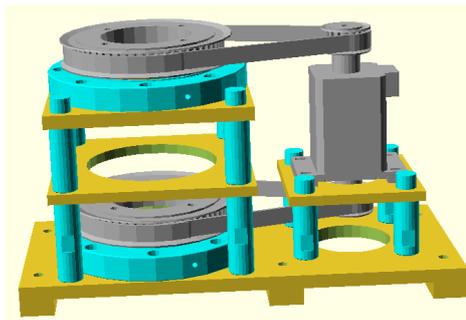
(1) 計測システムの構築

研究開始当初、画像取得システムは、分光器を利用した顕微分光装置でマッピングすることを計画していた。実際に 0 次元分光器を入手してテストした結果、露光時間が多いことと、ステージ駆動による 2 次元スキャンであるため生じる時間的な制約がシステム構築上かなり負担になることが判明した。そこで一度に 2 次元撮影が可能な分光カメラの情報を探索したが多くの装置は非常に高価であり、当初の「経費の削減」という目標との整合性に難があることが判明した。

しかし、その二次元撮影カメラの検索の過程で、偏光カメラという透過偏光画像を撮影可能な 2 次元画像取得装置を東北発のベンチャー企業 (Photonic Lattice 社) が作製していることを発見した。この装置は、本研究の目標としている組織解析用では無く、ガラスなどの歪み計測用の装置であったが、試用を直接打診したところ、地元ということもありとても好意的にご協力いただくことができ、測定を行うことが可能となった。本装置は、撮影

が手軽であり、大きな結晶の測定であれば十分な性能があり、適用可能性は広く、本研究の初期の目標を達成することができた。他方、微細結晶を撮影するためには、撮影範囲と解像度に問題があった。ガラスなどの歪み測定など本来の使用用途であれば何ら問題にならないもので、用途外使用による限界であり、岩石組織撮影用の利用にはさらなる改善が必要ということがわかった。

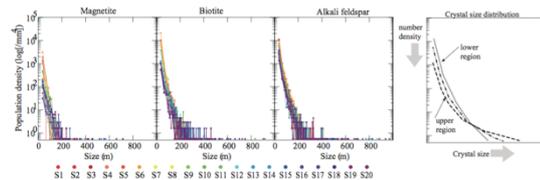
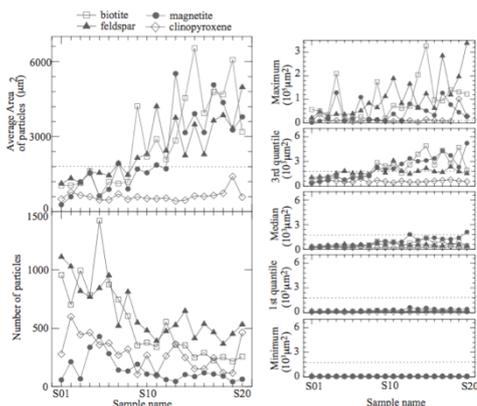
そこで、偏光カメラ装置の利点である一度に多方向の偏光の同時撮影可能な点をあきらめ、偏光顕微鏡様の2次元撮影装置で複数枚撮影を合成してデータを取得するシステムの構築を目指すこととした。一般的な偏光顕微鏡では、偏光板は回転させず、試料を回転させる機構となっている。しかし、試料を回転させて複数枚の撮影画像を入手する場合、複数画像の位置合わせが難しく、その後の解析が困難になる。顕微鏡会社にも複数打診したが、上下の偏光板を同時に回転できる機構を持つ装置は皆無であった。そこで、一般的な岩石薄片試料を全面測定可能になるように、また、偏光板が上下同期して回転可能な装置を設計し（下図）、得られたデータの解析を行うシステムを構築した。



(2) マグマ溜まり冷却

納沙布岬貫入岩体下部の急冷部は、斑晶と石基によって構成されており、斑晶は、普通輝石、斜長石、磁鉄鉱、橄欖石であり、貫入当初からマグマ中に存在していたことがこれまでの研究で明らかになっている。石基は、輝石、斜長石、磁鉄鉱、アルカリ長石、黒雲母などで構成されている。

岩体下部の「斑晶」集積部の試料のうち、特に急冷部～斑状部の1mのコアサンプルの薄片試料(S01-S20)を用いて解析を詳細に行



ったのでその解析結果を左下の図に示す。いずれの鉱物も母岩との接触面から粒子サイズが大型化していることが明瞭になった。上図のようにCSD(Crystal size distribution)で考察すると、接触面近くでは微細な粒子が多く粗粒な粒子が少ないが、接触面から離れると微細な粒子は減って粗粒な粒子が増えていることがわかる。このことは、岩体の冷却による粒子の成長を示唆している。そこで、過去の論文で磁鉄鉱と長石の粒子成長速度を求めたデータがあることから、その数値を利用し、CSDの式を用いて成長速度を求めた結果、熱伝導冷却と調和的であることが判明した。

定置直後の岩体冷却では対流効果はほとんど無く、熱伝導的であることがこれまでの研究で既に示唆されており、本研究の結果もそれらと調和的である。

本研究で構築した偏光同期回転板システムによる鉱物識別と粒子サイズなどの組織解析は、EPMAマッピングなどと比較して簡易であり、レタレーションの差異が十分にあれば、モード測定器より正確な結果を得ることもできる。こういったシステムは、変成岩の変形組織や堆積岩などの岩石組織の画像解析などにも有効なシステムであると考えられる。

また、偏光顕微鏡が利用できない立方晶の結晶を含有するため最終的には論文に記載はしなかったが、本解析システムを試用した材料(Al₂O₃/YAG共晶体)の論文を発表論文に記載しておく。このような複雑な材料組織の解析にも本システムは有効であると考えている。

マグマ溜まりに関する成果は、学会発表では概要を報告している。また、本報告書記載には間に合わなかったが、2本の査読付き投稿論文として現在準備中であり、1本は英文校正済、もう1本は英文校正用に準備中であり、今後、公表予定で作業を進行していることを付記する。

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 1件)

① Rayko Simura*, Tetsuo Taniuchi, Kazumasa Sugiyama, Tsuguo Fukuda

“Textural and optical properties of Ce-doped YAG/Al₂O₃ melt growth composite grown by micro-pulling-down method”

High Temperature Materials and Processes,

published online (2017-01-26) (2017)
[DOI:10.1515/htmp-2016-0152] (査読有)

[学会発表] (計 2件)

① 「A solidification history of a magma chamber based on textural observations of the Nosappumisaki intrusion, Nemuro, Japan」,
志村玲子,
日本地球惑星科学連合 2018 年大会, SCG73-P19, 2017

② 「偏光カメラによる石基結晶サイズ分布測定とマグマ冷却～納沙布岬貫入岩体最下部の冷却前線の例～」,
志村玲子、杉山和正,
日本鉱物科学会 2015 年年会, R6-P03, 2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

志村 玲子 (SIMURA, Rayko)
東北大学・多元物質科学研究所・助教
研究者番号：90420009