

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 10 月 14 日現在

機関番号：13801

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26610160

研究課題名(和文) ほぼ全ての溶岩に適用可能な酸化還元状態決定法の開発

研究課題名(英文) Development of a new method to estimate a redox state of almost all lavas

研究代表者

道林 克禎 (Michibayashi, Katsuyoshi)

静岡大学・理学部・教授

研究者番号：20270978

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：島弧火山のマグマだまりにおける酸化還元状態について明らかにするため、富士山1707年宝永噴火のハンレイ岩捕獲岩について酸素フュガシティ(f_{O_2})条件を検討した。ハンレイ岩の多くはイルメナイトとマグネタイトの両方を含むので、Fe-Ti酸化物温度・酸素シュガシティ計を適用することで、鉱物化学組成から平衡温度・ f_{O_2} 条件を見積もった。捕獲岩を地表までもたらした母岩マグマの影響を避けて平衡温度・ f_{O_2} 条件を見積もった結果、760-940℃、 $QMF+0.6\sim+2$ の値を得た。

研究成果の概要(英文)：The 1707 pyroclasts of Mt. Fuji have gabbroic xenoliths. We studied f_{O_2} conditions of the gabbroic xenoliths in order to understand a redox state within magma chamber of an island-arc volcano. Fe-Ti oxides thermobarometry-oxybarometry yield T- f_{O_2} conditions of ca. 760-940 degree C and near Ni-NiO buffer for ilmenite-magnetite coexisting samples.

研究分野：地質学

キーワード：島弧火山 酸化還元状態 酸素フュガシティ ハンレイ岩 マントル 島弧

1. 研究開始当初の背景

マグマの酸素フュガシティ (fO_2) は、温度・圧力と並んで重要な示強変数である。 fO_2 はマグマから結晶化する鉱物の化学組成と安定性に影響を及ぼし、その結果としてマグマの化学進化経路に変化を引きおこすため、マグマの形成プロセスを議論するうえで fO_2 条件に関する制約は必要不可欠である。一方で比較的未分化なマフィックマグマの fO_2 は、その起源であるアセノスフェアでの酸化還元状態の指標とみなすことができる (e.g. Kelley et al. 2008)。アセノスフェアを構成する岩石そのものの入手が困難な現状では、マフィックマグマの fO_2 はアセノスフェアの酸化還元状態に関する唯一の情報源である。このようにマグマの fO_2 条件を決定することは極めて重要であるが、その定量は簡単ではない。マグマの fO_2 条件を決定する方法として現在確立しているのは以下の2つである。ひとつめの方法は、マグマ中に共存する二相の Fe-Ti 酸化物鉱物間での Fe・Ti の元素分配に基づく方法である (e.g. Anderson & Lindsley 1988)。マグマ中にみられる化学組成を有する Fe-Ti 酸化物鉱物は約 1000 以下の低温領域ではマグネタイトとイルメナイトの二相に相分離し (図1) それら化学組成は温度と fO_2 によって決まる。従って、この二相の化学組成から温度と fO_2 の条件を同時決定できる。この手法は火成岩の fO_2 決定法の定番であるが適用できるケースは極めて限られる。天然のマグマ中でマグネタイトとイルメナイトの共存がみられる温度条件は約 1000 以下に限られ、高温のマフィックマグマ中でこの二相共存を確認できることは稀だからである。もうひとつの方法は、火山岩に含まれるケイ酸塩ガラス中の Fe の価数状態に基づくものである。ケイ酸塩ガラスはメルトが急冷したものであり、この急冷の過程で Fe の価数状態はほとんど変化しない。メルト中の Fe^{3+}/Fe^{2+} 比は fO_2 と強い相関関係を示す (e.g. Kress et al. 1991)。近年、放射光を用いた Fe-K 吸収スペクトル分析の技術が発達したことにより数十 μ m の微小なケイ酸塩ガラスについて Fe の価数分析が可能になりこれを利用してガラスの Fe の価数に基づくマグマの fO_2 決定が進められている (e.g. Cottrell et al. 2009)。この手法はまだ開発されて間もないが、今後マグマの fO_2 を決定する上で定番の手法となるだろう。しかし変質していないケイ酸塩ガラスが保持されるのはマグマが急冷凍結された場合のみであり、大多数の火山噴出物は Fe-Ti 酸化物二相もガラスも含まないためその fO_2 の定量が困難を極めてしているのが現状である。もしこのような大多数の火山噴出物についてその fO_2 を定量する方法を開発できれば、マグマおよびマンツルの酸化還元状態とそれから考察される地下深部での酸化還元に関するプロセスの理

解は大きく進歩するはずである。そこで本研究では Fe-Ti 酸化物を一相しか含まない火山岩の fO_2 決定を可能とする方法を開発することを目的とする。その手法の詳細は後述するが、簡単な“一工夫”を天然の火山岩に加えることによってこれまで困難であった Fe-Ti 酸化物酸素分圧計の適用を可能にする。

一般に火山岩は、一相の Fe-Ti 酸化物鉱物 (マグネタイトまたはイルメナイト) を含む。そして、このような火山岩は世界中に広く分布し、その噴出年代も現在から太古代まで遡ることができる。従ってこのような火山岩への Fe-Ti 酸化物酸素分圧計の適用を可能とできれば地球史のほぼ全体を通じて噴出した世界中の火山岩をその適用対象とすることができる。比較的マフィックなマグマの fO_2 がその起源領域であるアセノスフェアの fO_2 をよく反映していることを受け入れると (e.g. Kelley et al. 2008)、この手法の開発によって世界中のアセノスフェアマンツルの酸化還元状態の地球史を通じた時系列変遷を追跡可能になり極めて斬新かつ画期的な成果を期待できる。それではどうすれば Fe-Ti 酸化物鉱物を一相しか含まない火山岩に Fe-Ti 酸化物酸素分圧計を適用できるのか？

天然の火山岩の多くに Fe-Ti 酸化物が一相しか含まれないため Fe-Ti 酸化物温度計を適用できない。低温領域では Fe-Ti 酸化物は二相共存が安定であるにもかかわらず、天然の火山岩の大部分には一相しか含まれないのは、天然での火山岩の冷却速度が速すぎるために二相領域より高温での状態が急凍結されてしまうためである。そのため、二相領域に相当する温度で十分な時間アニーリングしてやれば、火山岩中の Fe-Ti 酸化物は二相分離するはずである。そして、外界との酸化還元反応を極力抑えた条件下において火山岩試料をアニーリングすれば、二相分離した Fe-Ti 酸化物鉱物の化学組成は、アニーリング温度とその岩石固有の fO_2 の条件を反映したものになると予測される。この場合、アニーリング温度は既知であるので、二相のうちどちらかの化学組成を測定できれば fO_2 を決定可能である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、既存の手法ではその酸化還元状態を制約することが困難である大多数の火山噴出物について、その酸素フュガシティ (fO_2) 条件の定量を可能にする方法を開発することである。マグマの fO_2 決定法として確立されたものに Fe-Ti 酸化物酸素分圧計があるが、この手法を適用するにはマグネタイトとイルメナイトの二相の Fe-Ti 酸化物鉱物の共存が必要である。しかし天然のマフィック火山岩の大多数には、そのうち一相しか含まれないためにこの手法を適用できない。本研究では、Fe-Ti 酸化

物を一相しか含まない火山岩に“一工夫”を加えることによって Fe-Ti 酸化物酸素分圧計の適用を可能とする方法を開発する。

3. 研究の方法

研究計画では高温真空炉を新たに導入してマフィック火山岩のアニーリングさせる予定であった。しかし、配分予算から高温真空炉の導入をあきらめ、天然でイルメナイトとマグネタイトが共存している岩石について、その化学組成から FeTi 酸化物温度・酸素フュガシテ計の適用を試みた。

4. 研究成果

島弧火山のマグマだまりにおける酸化還元状態について明らかにするため、富士山 1707 年宝永噴火の斑レイ岩捕獲岩について酸素フュガシテ (f_{O_2}) 条件を検討した。この斑レイ岩は、富士山地下のマグマだまりでマグマがゆっくりと固化したものであり、マグマだまり内部の f_{O_2} 状態を記録していると期待された。また、それらの多くはイルメナイトとマグネタイトの両方を含むので、FeTi 酸化物温度・酸素フュガシテ計を適用することで、鉱物化学組成から平衡温度・ f_{O_2} 条件を見積もった。捕獲岩を地表までもたらした母岩マグマの影響を避けて平衡温度・ f_{O_2} 条件を見積もった結果、760-940 °C, QMF+0.6~+2 の値を得た。この f_{O_2} 条件は、島弧の上部マントルおよび初生マグマに一般的な範囲に一致することからマグマだまりでのマグマ分化過程で f_{O_2} 条件は大きく変動しないと考えられる。

今後、FeTi 酸化物鉱物のリム部分にみられる化学組成ゾーニングを解析することで、捕獲岩がマグマに取り込まれてから噴火するまでのタイムスケールを推定できるだろう。また、本研究で用いた FeTi 酸化物温度・酸素フュガシテ計を島弧下部地殻由来の斑レイ岩に広く適用することで下部地殻の酸化還元状態の解明が期待される。

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9件)

1. Kolansinski, R.D., Shimada, M., Oya, Y., Buchenauer, D.A., Chikada, T., Cowgill, D.F., Donovan, D.C., Friddle, R.W., Michibayashi, K. and Sato, M., 2015. A multi-technique analysis of deuterium trapping and near-surface precipitate growth in plasma-exposed tungsten. *Journal of Applied Physics*, 118, 073301. (査読有)
2. Ji, S., Shao, T., Michibayashi, K., Oya, S.,

Satsukawa, T., Wang, Q., Zhao, W. and Salisbury, M. H., 2015. Magnitude and symmetry of seismic anisotropy in mica- and amphibole-bearing metamorphic rocks and implications for tectonic interpretation of seismic data from the southeast Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 120, doi:10.1002/2015JB012209 (査読有)

3. Satsukawa, T. and Michibayashi, K., 2014. Flow in the uppermost mantle during back-arc spreading revealed by Ichinomegata peridotite xenoliths, NE Japan. *Lithos*, 189, 89-104. (査読有)
4. Nagaya, T., Wallis, S. R., Kobayashi, H., Michibayashi, K., Mizukami, T., Seto, Y., Miyake, A. and Matsumoto, M., 2014. Dehydration breakdown of antigorite and the formation of B-type olivine CPO. *Earth and Planetary Science Letters*, 387, 67-76. (査読有)
5. Tasaka, M., Hiraga, T. and Michibayashi, K., 2014. Influence of mineral fraction on the rheological properties of forsterite + enstatite during grain size sensitive creep 3: Application of grain growth and flow laws on peridotite ultramylonite. *Journal of Geophysical Research*, 119, 840-857. (査読有)
6. Ji, S., Shao, T., Salisbury, M. H., Sun, S., Michibayashi, K., Zhao, W., Long, C., Liang, F. and Satsukawa, T., 2014. Plagioclase preferred orientation and induced seismic anisotropy in mafic igneous rocks. *Journal of Geophysical Research*, 119, 8064-8088. (査読有)
7. Watanabe, T., Shirasugi, Y. and Michibayashi, K., 2014. A new method for calculating seismic velocities in rocks containing strongly dimensionally anisotropic mineral grains and its application to natural antigorite-bearing

serpentinites. *Earth and Planetary Science Letters*, 391, 24-35. (査読有)

8. Shao, T., Ji, S., Kondo, Y., Michibayashi, K., Wang, Q., Xu, Z., Marcotte, D. and Salisbury, M. H., 2014. Antigorite-induced seismic anisotropy and implications for deformation in subduction zones and the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 119, 2068-2099. (査読有)
9. Michibayashi, K., Harigane, Y., Ohara, Y., Muto, J. and Okamoto, A., 2014. Rheological properties of the detachment shear zone of an oceanic core complex inferred by plagioclase flow law: Godzilla Megamullion, Parece Vela back-arc basin, Philippine Sea. *Earth and Planetary Science Letters*, 408, 16-23. (査読有)

〔学会発表〕(計7件)

1. Yukiko Tanaka, Hidemi Ishibashi, Natsumi Hokanishi, Atsushi Yasuda (2016) Melt inclusions in gabbroic xenoliths from Fuji volcano; implication for cryptic silicic magma chamber. Goldschmidt Conference 2016, June 28th, Yokohama.
2. 水野那希・道林克禎, 2015. 丹沢深成岩体に接する変成マフィック岩の変形微細構造. 日本地質学会第122年学術大会(2015長野大会), R4-P-4, 2015年9月12日, 信州大学, 長野
3. 道林克禎・照峰直伸・針金由美子・布浦拓郎・上原茂樹・小原泰彦・宮崎淳一・高井研, 2014. ABISMOがマリアナ海溝チャレンジャー海淵で採取した堆積物コアのマフィック鉱物. SIT41-14, 日本地球惑星科学連合大会, 2014年4月28日, パシフィコ横浜, 横浜.
4. 小出聡子・柴田有毅・道林克禎, 2014. 幌満かんらん岩のスピネルの形態変化について. SMP46-07, 日本地球惑星科

学連合大会, 2014年4月28日, パシフィコ横浜, 横浜.

5. 富田大貴・道林克禎・片山郁夫・小宮剛, 2014. 南アフリカカーブパールクラトロンリソスフェア起源粗粒かんらん岩の微細構造とメタゾマティズムの関係. SMP46-09, 日本地球惑星科学連合大会, 2014年4月28日, パシフィコ横浜, 横浜.
6. 西村拓真・針金由美子・道林克禎・森下知晃・佐藤暢, 2014. 中央インド洋海嶺南部 Kairei 熱水場周辺のマフィック岩と超マフィック岩. SIT41-P01, 日本地球惑星科学連合大会, 2014年4月28日, パシフィコ横浜, 横浜.
7. 吉田佳明・道林克禎・安間了, 2014. 南アメリカタイタオオフィオライト最上部マントルかんらん岩の構造岩石学的特徴. SIT41-01, 日本地球惑星科学連合大会, 2014年4月28日, パシフィコ横浜, 横浜.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織
(1)研究代表者

道林 克禎 (MICHIBAYASHI, Katsuyoshi)
静岡大学・理学部・教授
研究者番号：20270978

(2)研究分担者

石橋 秀巳 (ISHIBASHI, Hidemi)
静岡大学・理学部・講師
研究者番号：70456854

(3)連携研究者

()

研究者番号：