

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 25 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25247088

研究課題名(和文) 深部マグマ供給系と火山活動

研究課題名(英文) Volcanic activity and deep structure of volcanoes

研究代表者

高橋 栄一 (Takahashi, Eiichi)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：40144779

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,700,000円

研究成果の概要(和文)：M9東北地方太平洋沖地震の結果、日本列島にかかる強い水平圧縮がほとんど取り去られマグマ移動は容易となり、火山活動の長期にわたる活発化が懸念されている。代表者らは、高圧実験、火山岩岩石学、火山地質学、地震波トモグラフィーによる火山深部構造探査を通じて、日本列島のいくつかの活火山の深部構造を明らかにし、将来の火山活動予測を行うための研究コミュニティー育成に努めた。

具体的には富士火山のマグマ溜まりが深さ25-40kmの下部地殻にあり上部マントルの部分融解層とともに極めて優勢であること、阿蘇カルデラ火山のマグマ供給系が過去40万年間に下部地殻から上部地殻に移動しつつあることなどが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：Due to the M9 Tohoku-oki earthquake, regional stress fields of the Japan Arc have changed from strong lateral compression to neutral to tensional fields. This will enhance transportation of magma in deep portion of volcanoes so that their future activities need attention.

In order to understand future magmatic activity in Japan Arc, we studied deep structure of some active volcanoes, depth of magma reservoir and the chemistry and temperature of magmas by using high-pressure melting experiments, petrologic and geologic study and earthquake tomography.

In particular, deep structure of Fuji volcano was clarified by combination of high-pressure melting experiments and earthquake tomography. It has large lower crustal magma chamber between 25 and 40 km depth and strong upwelling mantle flow. It is also found that caldera forming Aso volcano has migrating crustal magma chamber in the lower crust >20km depth at 400Kya to shallow crustal one <10km at 100Kya.

研究分野：岩石学

キーワード：火山 深部構造 火山活動 巨大地震 マグマ供給系

1. 研究開始当初の背景

2011年3月11日に発生したM9東北地方太平洋沖地震の結果、日本列島にかかる強い水平圧縮がほとんど取り去られ、一部地域は引張場に移行した。その結果地殻内のマグマ移動は容易となり、日本列島全体で火山活動の長期にわたる活発化が懸念される。代表者は、17世紀の中盤に活動を開始した北海道駒ヶ岳[1640年~]、有珠[1663年~]、樽前[1667年~]の火山活動が1618年に北海道東方沖で起きたM9地震により励起されたものであるとの仮説を発表した(高橋、2012)。同じく、貞観地震(西暦869年)後の鳥海火山噴火(871年)、十和田a噴火(915年)も巨大地震による励起噴火である可能性がある。本研究では、我が国の火山活動の予測に資するため、今後活動が予測される活火山マグマ供給系の実態解明を目指した。

2. 研究の目的

東工大高橋研の持つ高圧発生装置を用いてマグマ結晶化の精密な再現実験を行い、マグマ溜りの深さ、温度、含水量、酸化状態を各火山について推定した。火山下の地殻及び上部マントルの地震波トモグラフィーを精密決定し、実験結果の熱力解析、噴出物の岩石学的特徴、火山活動史と照合して信頼性の高いマグマ供給系モデルをそれぞれの火山について構築した。各火山の今後の活動について噴火モデルを作成し、火山噴火について予測シナリオを立てることを目指した。

3. 研究の方法

3-1. 高温高圧実験によるマグマ溜りの深さ推定

東工大高橋研にはガス圧発生装置、ピストンシリンダー装置、マルチアンビル型高圧発生装置が完備し、地殻から下部マントルまでの温度圧力条件を再現することができる。中でもガス圧発生装置は200MPa、500MPa、860MPaの3台のHIP装置(わが国唯一)が設置され、日本列島の活火山のマグマ溜りの再現実験を多数行ってきた。例えば、有珠火山は1663年に大規模プリニアン噴火で無斑晶流紋岩マグマUsu-bを噴出した。Tomiya, Takahashi他(2010)は400MPaまでの各圧力でUsu-bの結晶化実験を行い、流紋岩マグマの存在する深さが約10km(300MPa)、デイサイトマグマの存在する深さが約5km(150MPa)であることを明らかにした。

本研究終了と同時に代表者は東工大を定年退職し中国科学院広州地球化学研究所の教授となるため、東工大の内熱式ガス圧装置を産総研に移管すべく2年越しの努力を続けてきた。高圧ガス装置に対する保安規則の厳密さが装置移管に対する最大の障害となっている(高橋、2015巻頭言参照)。

3-2. 地震波トモグラフィーによる火山深部構造の解明

分担者の中島は地震波トモグラフィーにより、東北日本上部マントルの部分融解帯の3次元構造を世界で初めて明らかにした実績を持つ(Nakajima et al. 2001JGR)。その後、フィリピン海プレートの沈み込み構造、歪集中帯の地殻構造など、地震波トモグラフィーを用いて上部マントルおよび地殻の構造を次々に解明してきた。本研究では従来の手法を改善して空間解像度を上げ、高精度のデータを多量に蓄積し、スケールが小さな活火山下のマグマ供給系の構造の解明に挑戦した。

3-3. 巨大地震後の火山活動予測に向けた研究コミュニティの育成

巨大地震の影響による将来の火山活動の予測は国民的な大きな研究課題であるため、本科研費の分担者を超えて広くこの問題に関心を持つ研究者を募り研究コミュニティの育成に努めることも本研究の目的とした。この目的に向けて代表者と研究分担者の栗田敬は東京大学地震研究所特定研究課題に申請し2014年から3年間にわたり研究集会を開催し、延べ約100名の国内研究者と意見交換を行い論文集の刊行を行った。

4. 研究成果

4-1. 阿蘇火山

日本で最大の巨大噴火を起こしてきた阿蘇火山について、高橋研の博士課程大学院生であった潮田雅志は2014年に博士課程を就労し産総研の火山研究グループのPD研究員となり、高橋研OBの宮城磯治・東宮昭彦の協力の元、東工大並びに産総研の高温高圧実験装置を用いて阿蘇火山のマグマだまりの再現実験を行っている(潮田ほか、2016火山学会)。この研究によると阿蘇火山最近40万年間の一連の巨大噴火の最初期にあたるAso-1のマグマだまりは深く、深さ20km以上の下部地殻の部分融解によりデイサイトマグマが形成されたことが分かってきた。

これに対してもっとも最近の噴火であるAso-4では、マグマだまりは深さ10km程度の地殻浅部に上昇したことが再現実験から裏付けられた。阿蘇火山については2016年に起きた熊本地震の影響もあり今後の詳細な研究が岩石学、火山地質学、地震学、構造地質学など広範な研究者の連携で進むことが期待される。

4-2. 富士火山

富士火山は北米プレート、ユーラシアプレート、フィリピン海プレートの三重点の付近に位置している。大規模な火山活動はわが国の中枢部に深刻な打撃を及ぼす可能性があることから、富士火山のマグマ供給系を推定することが最重要課題だと考えられる。地震学の観点からは富士火山の直下およそ15km

では深部低周波地震が発生していることがわかっており (Ukawa, 2007) 地震波トモグラフィからは深さ 20km 以下の部分にはマグマ溜まりがあると推定されている (Nakamichi ほか, 2007)。

岩石学の観点からは、最近 10 万年間のほぼすべての噴出物が玄武岩 ($\text{SiO}_2 = 49\text{-}53$ wt%) であることがあげられる。一方で K_2O に代表される液相濃集元素は最も高いものと低いもので 2 倍以上の差を持ち (高橋正樹ほか, 2003)、この組成幅は結晶分化によって生み出されると考えられる。藤井 (2007) では富士火山の深部マグマ溜まりでは輝石を主とする結晶分化が起こることにより、 SiO_2 量の変化の小さなトレンドが生まれると述べている。本研究では高温高压実験を用いて深部マグマ溜りにおける晶出相関係を決定し、富士火山に見られる結晶分化トレンドを再現することによって深部マグマ溜りの温度・圧力・含水量・酸素雰囲気条件を制約することを目指した。

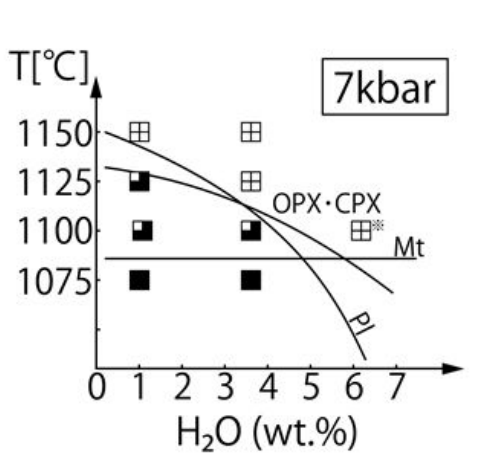


図 1. 宝永噴出物を用いた相平衡実験結果 (Asano & Takahashi, in preparation)

我々は東工大に設置されている内熱式ガス圧装置を用いて富士火山のもっとも最近噴出した宝永スコリアの相平衡実験を 4000、7000、8000 気圧の各圧力で行った。図 1 はそのうち 7000 気圧 (深さ 25km に相当) の実験結果である。含水量 3.5 wt % では斜長石、斜方輝石、単斜輝石の 3 つの主要鉱物がメルトとリキダス上で平衡の条件にあり、これは宝永噴火のマグマが下部地殻にあるマグマだまりから一気に噴出したとするこれまでの予想を裏付けるものである。

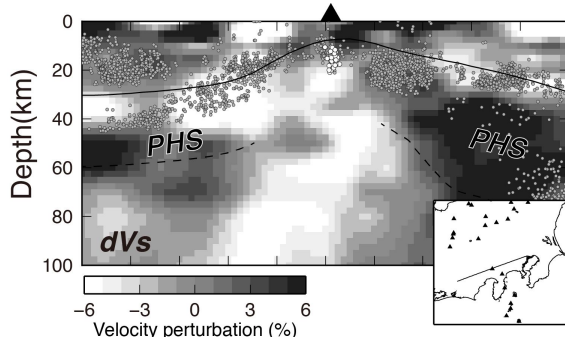


図 2. 富士火山を通る S 波速度構造の鉛直断面。実線、破線はフィリピン海プレートの上 (Nakajima et al., 2009) と下面をそれぞれ示す。灰色の丸は微小地震、白丸は低周波地震である。(Nakajima & Takahashi, in preparation)

図 2. に示すように、地震波トモグラフィで明らかになった富士火山の深部構造は、日本列島のほかの活火山に比べて特に優勢な上部マントルの低速度層が火山直下に位置し、10 万年間の活発な火山活動が現在も地下深部の活発なマグマ生成により裏付けられた。また、図 2. に明らかなように富士火山の下には深さ 20-40km の下部地殻に大きなマグマだまりが存在することが地震トモグラフィからも確かめられた。トモグラフィの深さ解像度を考慮すると、高温高压実験により明らかになったマグマだまり上部の深さ 25km と地震トモグラフィの結果は良く一致している。

4-3. 巨大地震と火山活動研究会

東京大学地震研究所特定研究課題に採択され、2014 年 11 月に第 1 回研究会を東大地震研究所 (参加者 65 名)、2015 年 10 月に第 2 回研究会を北大理学部 (参加者 55 名)、2016 年 9 月に第 3 回研究会を蔵王温泉にてそれぞれ開催した。またこの研究会を母体とする特別セッションを 2016 年 5 月の地球惑星科学連合大会にて開催し、200 名以上の参加者と議論することができた。これらの研究成果は東京大学地震研究所彙報から 2 回に分けて特集号として発行することになっている。

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 10 件)

1. Kenji Shimizu*, Takayuki Ushikubo, Morihisa Hamada, Shoichi Itoh, Yoshinori Higashi, Eiichi Takahashi, Motoo Ito, H_2O , CO_2 , F, S, Cl, and P_2O_5 analyses of silicate glasses using SIMS - preparations of volatile standard glasses (2017) *Geochemical Journal*, Vol.51, doi:10.2343/geochemj.2.0470 査読あり

2. Shan Gao, Eiichi Takahashi*, Toshiro Suzuki, High-Pressure Melting Experiments on Basalt-Peridotite Layered Source (KLB-1/N-MORB): Implications for Magma Genesis in Hawaii, (2017) *International Journal of Geosciences*, vol.8, 1-15. doi:10.4236/ijg.2017.81001 査読あり

- 3.N. Tsujino*, Y. Nishihara, D. Yamazaki, Y. Seto, Y. Higo, and E.Takahashi. Mantle dynamics inferred from the crystallographic-preferred-orientation of bridgmanite (2016) *Nature*, vol. 539, 81-84, doi:10.1038/nature19777
査読あり
4. 中島淳一、プレートの沈み込みと島弧マグマ活動、火山 61 巻、1 号、23 - 36 .
査読あり
- 5.Nishida*, K., Suzuki,A., Terasaki, H., Shibazaki, Y., Higo, T., Kuwabara, S., Shimoyama, Y., Sakurai, M., Ushioda, M., Takahashi, E., Kikegawa, T., Wakabayashi, D., Funamori, N., Towards a consensus on the pressure and composition dependence of sound velocity in the liquid Fe-S system. (2016) *Phys. Earth Planet Interior*, vol.257, P230-239
doi.org/10.1016/j.pepi.2016.06.009
査読あり
6. 高橋栄一 高圧ガス装置には「研究特区」が必要ではないだろうか？ (2015) *高圧力の科学と技術* Vol. 25 No. 4 p. 271-272 doi.org/10.4131/jshpreview.25.271
査読なし
- 7.K.Matsukage*, Y.Nishihara, F.Noritake, K.Kawamura, N.Tsujino, M.Sakurai, Y.Higo, J.Nakajima, A.Hasegawa, and E.Takahashi, Elastic wave velocity anomalies of anorthite in subducting plate: In situ experiments (2015) *American Mineralogist*, vol.100, pp.1856-1865.
doi.org/10.2138/am-2015-5240 査読あり
8. M. Sakurai*, H. Sakuma, N. Tsujino, E. Takahashi, K. Kawamura: Determination of Hydrogen Atoms Position in Enstatite by IR Spectra, *Journal of Computer Chemistry, Japan*, 13(3), 169-170 (2014)
doi:10.2477/jccj.2014-0023 査読あり
9. Ushioda*, M., Takahashi,E., Hamada, M., and Suzuki, T. Water content in arc basaltic magma in north-east Japan and Izu-Mariana arc: an estimate from Anorthite content in plagioclase, (2014) *Earth Planets and Space.*, Vol.66:127, p.1-10 doi:10.1186/1880-5981-66-127
査読あり
10. Sakurai, M*, Tsujino, N., Kawamura, K., Sakuma,H. and Takahashi, E. Effect of Al content on water partitioning between orthopyroxene and olivine: Implication for upper mantle dynamics, , (2014) *Earth and Planetary Science Letters*, 400 284-291
doi.org/10.1016/j.epsl.2014.05.041
査読あり
- [学会発表](計 14 件)
- 1.Role of volatiles in melting process of mantle plume: Case study in Hawaii, E.Takahashi, S.Gao (2017) JPGU 2017 Annual Meeting, 2017 年 5 月 22 日幕張メッセ
- 2.高温高圧実験による阿蘇 1 噴火前マグマ溜まり条件の予察的制約 潮田雅志、宮城磯治、鈴木敏弘、高橋栄一 日本火山学会、秋季大会 2016 年 10 月 15 日富士吉田
- 3.Experimental Melting Study of Basalt-Peridotite Hybrid Source, S.Gao, E.Takahashi, T.Suzuki Goldschmidt Conference 2016 年 6 月 29 日パシフィコ横浜
- 4.Melting model of Hawaiian plume, E.Takahashi, S.Gao, K.Matsukage Goldschmidt Conference 2016 年 6 月 29 日パシフィコ横浜
- 5.Phase D as a major water carrier in the subducting oceanic crust into the lower mantle, Liu Xingcheng, K.Matsukage, T.Suzuki, E.Takahashi Goldschmidt Conference 2016 年 6 月 30 日パシフィコ横浜
- 6.Subducting basaltic crust as a water transporter into the Earth's mantle transition zone, K.Matsukage, Liu Xingcheng, Y.Nishihara, T.Suzuki, Y.Seto, E.Takahashi, Goldschmidt Conference 2016 年 6 月 30 日パシフィコ横浜
- 7.富士火山のマグマ溜りと深部構造 高橋栄一、中島淳一 JPGU Annual Meeting, 2016 年 5 月 21 日幕張メッセ
- 8.巨大地震により火山活動が長期的に活性化される可能性について 高橋栄一 JPGU Annual Meeting, 2016 年 5 月 21 日幕張メッセ
- 9.Stability field of Phase D in hydrous basaltic system at the mantle transition zone Xingcheng Liu, Kyoko N. Matsukage, Eiichi Takahashi, Toshihiro Suzuki,

JPGU Annual Meeting, 2016年5月22日
幕張メッセ

10. Melting Study of Basalt-Peridotite Hybrid Plume Source S.Gao, E.Takahashi, K.Matsukage, J.Kimura, T.Suzuki JPGU Annual Meeting, 2016年5月20日幕張メッセ

11. Effect of crustal partial melting on tectonics of Japan Arc: Case study in the Niigata-Kobe Tectonic Zone (NKTZ) E.Takahashi, J.Nakajima JPGU Annual Meeting, 2016年5月23日幕張メッセ

12. 高温高压実験に基づくハワイホットスポットのマグマ生成モデル、高橋栄一、高珊、松影香子、鈴木敏弘、日本高压力学会、第56回高压討論会 2015年11月11日広島

13. Experimental Melting Study of Basalt-Peridotite Hybrid Source, S.Gao, E.Takahashi, K.Matsukage, T.Suzuki 日本高压力学会、第56回高压討論会 2015年11月11日広島

14. Role of Water in Arc Basalts: case studies in Miyakejima, Fuji and some other volcanoes Eiichi Takahashi, Masashi Ushioda, Kenta Asano & Toshiro Suzuki Geofluid-3 国際シンポジウム 招待講演 2014年2月28日 3月3日 東京工業大学デジタル多目的ホール

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/takahashi/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 栄一 (TAKAHASHI Eiichi)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：40144779

(2) 研究分担者

浜田 盛久 (HAMADA Morihisa)

独立行政法人海洋研究開発機構・地球内部

ダイナミクス領域・研究員

研究者番号：60456853

松影 香子 (MATSKAGE Kyoko)

帝京科学大学・生命環境学部・准教授

研究者番号：40235974

中島 淳一 (NAKAJIMA Junichi)

東京工業大学・理学院・教授

研究者番号：30361067

栗田 敬 (KURITA Kei)

東京大学・地震研究所・教授

研究者番号：00111451