

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 5月17日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2009～2012

課題番号：21684032

研究課題名（和文） 揮発性成分が地球深部のマグマの粘度に与える影響

研究課題名（英文） Effect of volatile elements on the viscosity of magma at high pressure

研究代表者

鈴木 昭夫（SUZUKI AKIO）

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：20281975

研究成果の概要（和文）：放射光を用いたX線イメージング落球法でマグマ（珪酸塩メルト）の粘度を高温高圧力下で測定した。特に揮発性成分（CO₂）が粘度に与える影響に着目した。まず、高エネルギー加速器研究機構の放射光施設（KEK PF-AR）のNE7Aステーションにおいて、本研究課題を行うためのX線カメラや検出器架台などの装置を整備した。続いて、様々な組成のマグマについて、揮発性成分の量と粘度の関係を調べた。

研究成果の概要（英文）： We measured the viscosity in situ by the falling-sphere viscometry using X-ray radiography technique. We determined the pressure, temperature and compositional dependence of the viscosity of silicate melts.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
21年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
22年度	3,200,000	960,000	4,160,000
23年度	3,200,000	960,000	4,160,000
24年度	3,200,000	960,000	4,160,000
年度			
総計	16,100,000	4,830,000	20,930,000

研究分野：数物系科学

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：マグマ、粘度、高圧力、放射光、マントル、揮発性成分

1. 研究開始当初の背景

地球内部で発生するマグマには、多かれ少なかれ揮発性成分が含まれる。揮発性成分があることで、岩石の融点が下がってマグマが生じやすくなる。また、マグマに揮発性成分が溶け込むことによりマグマの物性が変化し、例えば密度は低下する。しかしながら、我々の研究によりマグマ中のH₂OやCO₂は圧縮率が高く、上部マントルと遷移層の境界付近の圧力下ではあまり密度を下げないことが分かっていた。このことにより、上部マントル最下部に揮発性成分を含むマグマが滞留する可能性が示された。この付近での流体

の存在は地震波の観測からも示唆されており、我々の研究と調和的である。

2. 研究の目的

マグマの密度についてはある程度研究が進んでいたが、一方、マグマのもう一つの重要な物理量である粘度については、高圧力下での実験的研究はあまり行われておらず、不明な点が多かった。本研究では特に二酸化炭素に着目し、マグマの粘度に与える影響を調べた。

3. 研究の方法

高温高圧力下での粘度測定は、X線イメージング落球法で行われた。これは、マグマ中

を落下する金属球の速度をX線カメラの動画画像から測定し、ストークスの式を用いて粘度を求める方法である。マグマのような高温融体の粘度測定をする際、圧力発生にはマルチアンビル型高圧発生装置が適している。ところが、圧力媒体は可視光を透過しないため、高圧セル内の試料の観察には放射光の強力なX線が必要である。このため、実験は茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構(KEK)の放射光実験施設(PF-AR)のNE7Aステーションで行った。NE7Aにはマルチアンビル型高圧発生装置が備え付けてあり、また、本研究課題の経費でX線カメラや装置架台など、必要な物品を導入した。

4. 研究成果

ヒスイ輝石(NaAlSi₂O₆)組成のマグマ(珪酸塩メルト)は常圧下で(Si, Al)₄ネットワーク重合度の高い構造を持っている。このメルトの粘度を高圧力下で測定すると、圧力の増加とともに粘度が低下することが分かっていた。本研究では広範な温度圧力下で粘度測定を行い、2.5GPa付近で粘度の減少が停止し、さらなる高圧力下では粘度が殆ど変化しないことが分かった。いっぽう、粘度の温度依存性は実験の圧力範囲内で、常圧下での値と殆ど変化しないことが示された。このヒスイ輝石組成のメルトに二酸化炭素を加えると、0.5 wt%程度の添加でおよそ1桁の粘度減少が認められた。

一方、透輝石(CaMgSi₂O₆)は、ヒスイ輝石と同じく結晶では輝石の構造だが、この組成のメルトは常圧下で重合度が低い。このメルトの粘度は圧力の増加とともに増加するが、我々によるX線その場観察落球法による測定の結果、従来行われた急冷法による測定と較べて、圧力の増加に伴う粘度増加の割合が非常に小さいことが分かった。ただし、正の勾配を持つ点は一致している。さて、この透輝石組成のメルトに二酸化炭素を加えた場合、粘度減少の割合はヒスイ輝石と較べて大幅に小さいことが分かった。粘度減少に違いがあるということは、すなわち、二酸化炭素が珪酸塩メルトの構造に与える影響が重合度によって異なることがわかる。これは、モデル玄武岩組成を用いた我々の結果とも調和的である。

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 49 件)

1) Suzuki, A., Viscosity of CO₂-bearing silicate melts at high pressure. Photon Factory Activity Report 2011 (KEK Prigress Report 2012-3), vol. 29, Part

B, 287, 2013. 査読無

- 2) Ohuchi, T., Nishihara, Y., Kawazoe, T., Spengler, D., Shiraishi, R., Suzuki, A., Kikegawa, T., Ohtani, E., Superplasticity in hydrous melt-bearing dunite: implications for shear localization in Earth's upper mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 335-336, 59-71, 2012. DOI: 10.1016/j.epsl.2012.04.032 査読有
- 3) Terasaki, H., Ohtani, E., Sakai, T., Kamada, S., Asanuma, H., Shibazaki, Y., Hirao, N., Sata, N., Ohishi, Y., Sakamaki, T., Suzuki, A., Funakoshi, K.-I., Stability of Fe-Ni hydride after the reaction between Fe-Ni alloy and hydrous phase (δ -Al₁₀OH) up to 1.2Mbar: Possibility of H contribution to the core density deficit. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 194-195, 18-24, 2012. DOI: 10.1016/j.pepi.2012.01.002 査読有
- 4) Tateyama, R., Ohtani, E., Terasaki, H., Nishida, K., Shibazaki, Y., Suzuki, A., Kikegawa, T., Density measurements of liquid Fe-Si alloys at high pressure using the sink-float method. *Physics and Chemistry of Minerals*, 38, 801-807, 2011. DOI 10.1007/s00269-011-0452-1 査読有
- 5) Shiraishi, R., Ohtani, E., Kubo, T., Doi, N., Suzuki, A., Shimojuku, A., Kato, T., Kikegawa, T., Deformation cubic anvil press and stress and strain measurements using monochromatic X-rays at high pressure and high temperature. *High Pressure Research*, 31(3), 399-406, 2011. DOI:

10. 1080/08957959. 2011. 590481 査読有
- 6) Nishida, K., Ohtani, E., Urakawa, S., Suzuki, A., Sakamaki, T., Terasaki, H., Katayama, Y., Density measurements of liquid FeS at high pressure using synchrotron X-ray absorption. *American Mineralogist*, 96, 864-868, 2011. DOI: 10.2138/am.2011.3616 査読有
- 7) Suzuki, A., Ohtani, E., Terasaki, H., Nishida, K., Hayashi, H., Sakamaki, T., Shibazaki, Y., Kikegawa, T., Pressure and Temperature dependence of the viscosity of a NaAlSi₂O₆ melt. *Physics and Chemistry of Minerals*, 38, 59-64, 2011. DOI 10.1007/s00269-010-0381-4 査読有
- 8) Sakamaki, T., Ohtani, E., Urakawa, S., Suzuki, A., Katayama, Y., Zhao, D., Density of high-Ti basalt magma at high pressure and origin of heterogeneities in the lunar mantle. *Earth and Planetary Science Letters*, 299, 285-289, 2010. 10.1016/j.epsl.2010.09.007 査読有
- 9) Litasov, K.D., Shatskiy, A., Fei, Y., Suzuki, A., Ohtani, E., Funakoshi, K., Pressure-volume-temperature equation of state of tungsten carbide to 32 GPa and 1673 K. *Journal of Applied Physics*, 108, 053513, doi:10.1063/1.3481667, 2010. 10.1063/1.3481667 査読有
- 10) Arima, H., Hattori, T., Komatsu, K., Abe, J., Utsumi, W., Kagi, H., Suzuki, A., Suzuya, K., Kamiyama, T., Arai, M., Yagi, T., Designing PLANET: the neutron beamline for high-pressure material science at J-PARC. *Journal of Physics: Conference Series*, 215, 012025, 2010.
10. 1088/1742-6596/215/1/012025 査読有
- 11) Suzuki, A., High-pressure X-ray diffraction study of ϵ -FeOOH. *Physics and Chemistry of Minerals*, 37(3), 153-157, 2010. 査読有
- 12) Sakamaki, T., Ohtani, E., Urakawa, S., Suzuki, A., Katayama, Y., Density of dry peridotite magma at high pressure using an X-ray absorption method. *American Mineralogist*, 95, 144-147, 2010. 査読有
- 13) Suzuki, A., Ohtani, E., Ando, R., Terasaki, H., Sakamaki, T., Funakoshi, K., Viscosity of basaltic magma at high pressure. *Acta Mineralogica-Petrographica*, 6, 40, 2010. 査読無
- 14) Ozawa, S., Ohtani, E., Miyahara, M., Suzuki, A., Kimura, M., Ito, Y., Transformation textures, mechanisms of formation of high-pressure minerals in shock melt veins of L6 chondrites, and pressure-temperature conditions of the shock events *Meteoritics and Planetary Sciences*, 44(11), 1771-1786, 2009. 査読有
- 15) Shibazaki, Y., Ohtani, E., Terasaki, H., Suzuki, A., Funakoshi, K., Hydrogen partitioning between iron and ringwoodite: implications for water transport into the Martian core. *Earth and Planetary Science Letters*, 287(3-4), 463-470, 2009. 査読有
- 16) Sakamaki, T., Ohtani, E., Urakawa, S., Suzuki, A., Katayama, Y., Measurement of hydrous peridotite magma density at high pressure using the X-ray absorption method. *Earth and Planetary*

- Science Letters, 287(3-4), 293-297, 2009. 査読有
- 17) Kimura, M., Mikouchi, T., Suzuki, A., Miyahara, M., Ohtani, E., ElGoresy, A., Kushiroite, CaAlAlSiO₆: A new mineral of the pyroxene group from the ALH 85085 CH chondrite, and its genetic significance in refractory inclusions. American Mineralogist, 94(10), 1479-1482, 2009. 査読有
- 18) Suzuki, A., Compressibility of the high-pressure polymorph of Al₂SiO₅ to 17 GPa. Mineralogical Magazine, 73(3), 479-485, 2009. 査読有
- 19) Terasaki, H., Urakawa, S., Funakoshi, K., Nishiyama, N., Wang, Y., Nishida, K., Sakamaki, T., Suzuki, A., Ohtani E., In situ measurement of interfacial tension of Fe-S and Fe-P liquids under high pressure using X-ray radiography and tomography techniques. Physics of the Earth and Planetary Interiors, volume 174, issues 1-4, 220-226, 2009. 査読有
- 20) 鈴木昭夫, 高圧力下でのX線イメージングによる地球惑星物質の研究, 物構研シンポジウム'09. KEK Proceedings 2009-10, 65-69, 2009. 査読無
- 21) Suzuki, A., Ohtani E., Nishida, K., Terasaki, H., Tateyama, R., Shiraishi, R., Kikegawa, T., Viscosity minimum of lunar high-Ti magma at high pressure and high temperature. Special Issue of the Review of High Pressure Science and Technology, vol. 19, 377, 2009. 査読無
- 22) Sakamaki, T., Ohtani E., Urakawa, S., Suzuki, A., Terasaki, H., Katayama, Y., Funakoshi, K., Density and structure of basaltic magma under high pressure and high temperature. Special Issue of the Review of High Pressure Science and Technology, vol. 19, 287, 2009. 査読無
- 23) Ohtani E., Suzuki, A., Terasaki, H., Sakamaki, T., Urakawa, S., Katayama, Y., Nishitani, N., Watanabe, K., Density measurement of peridotite magma by using X-ray absorption method. SPring-8 User Experimental Report No.22 (2008B), 2008B3726, 2009. 査読無
- 24) Suzuki, A., Ohtani E., Terasaki, H., Sakamaki, T., Shibasaki, Y. Tateyama, R., Funakoshi, K., Viscosity of basaltic magma at high pressure. SPring-8 User Experimental Report No.22 (2008B), 2008B1613, 2009. 査読無
- [学会発表] (計 80 件)
- 1) 鈴木昭夫, 揮発性成分を含むマグマの粘度. 第1回物構研サイエンスフェスタ, 182L, 茨城県つくば市, 2013年3月14日
- 2) 淵崎員弘, 浜谷望, 鈴木昭夫, 亀卦川卓美, KEK-AR NE7A でのX線吸収による液体密度測定の試み. 第1回物構研サイエンスフェスタ, 193L, 茨城県つくば市, 2013年3月14日
- 3) Suzuki, A., Viscosity of CO₂-bearing silicate melts at high pressure. The 3rd Global-COE Symposium on Deep Earth Mineralogy In conjunction with TANDEM 2013, 115, Matsuyama, Japan, March 5, 2013.
- 4) Suzuki, A., Density measurement of

- melts by X-ray absorption method at KEK NE7A station. Approach to the center of the Earth, 12, Sendai, Japan, February 21, 2013.
- 5) 鈴木昭夫, 揮発性成分がマグマの粘度に与える効果. 第 53 回高圧討論会, 1C05, 大阪府豊中市, 2012 年 11 月 7 日
 - 6) Suzuki, A., The role of carbon dioxide on the viscosity of diopside ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) composition melt at high pressure. IUCr Commission of High Pressure 2012 Meeting "Advances in Crystallography at High Pressures" International Symposium of the Quantum Beam Science Directorate, Japan Atomic Energy Agency, PS8-4, Mito, Japan, September 25, 2012.
 - 7) 鈴木昭夫, CO_2 を含む珪酸塩メルトの粘度. 日本鉱物科学会 2012 年年会, R3-P05, 京都府京都市, 2012 年 9 月 20 日
 - 8) Suzuki, A., Viscosity of carbon dioxide-bearing silicate melt at high pressure. The 22nd V.M. Goldschmidt Conference, P03G, Montreal, Canada, June 27, 2012.
 - 9) Suzuki, A., Viscosity of carbon dioxide-bearing silicate melt at high pressure. Joint Symposium of Misasa-2012 and Geofluid-2, Dynamics and Evolution of the Earth's Interior: special emphasis on the role of fluids, P21-03, Misasa, Japan, March 21, 2012.
 - 10) 鈴木昭夫, CO_2 を含む珪酸塩メルトの粘度. 第 29 回 PF シンポジウム, P07-01, 茨城県つくば市, 2012 年 3 月 15 日
 - 11) 鈴木昭夫, 月マグマの粘度について. 量子ビームを用いた物質・生命科学の新展開, 宮城県仙台市, 2011 年 12 月 21 日
 - 12) Mao, W. L., Gleason, A. E., Pentcheva, R., Otte, K., Suzuki, A., Spin states of FeOOH at high pressure using x-ray emission spectroscopy and DFT calculations. AGU 2011 Fall Meeting, San Francisco, USA, December 8, 2011.
 - 13) 鈴木昭夫, 高温高圧下における Diopside メルトの粘度. 第 28 回 PF シンポジウム, P-UG07-06, 茨城県つくば市, 2011 年 7 月 12 日
 - 14) Suzuki, A., Viscosity of $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ liquid at high pressure revisited. Japan Geoscience Union Meeting 2011, SCG009-03, Chiba, Japan, May 23, 2011.
 - 15) 鈴木昭夫, InOOH 型酸化水酸化物の状態方程式. 第 24 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 9P102, 茨城県つくば市, 2011 年 1 月 9 日
 - 16) Suzuki, A., Compression behavior of InOOH -type oxyhydroxide. 5th Asian Conference on High Pressure Research, Matsue, Japan, 11A3-3, November 11, 2010.
 - 17) 鈴木昭夫, 亀卦川卓美, PF-AR NE7A ステーションについて. 第 51 回高圧討論会, 2P13, 宮城県仙台市, 2010 年 10 月 21 日
 - 18) Suzuki, A., Ohtani, E., Ando, R., Terasaki, H., Sakamaki, T., Funakoshi, K., Viscosity of basaltic magma at high pressure. IMA2010, 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, Budapest, Hungary, 5SE08, August 26, 2010.
 - 19) Suzuki, A., Ohtani, E., Nishida, K., Tateyama, R., Shibasaki, Y., Kikegawa, T., Viscosity of $\text{K}_2\text{TiSi}_4\text{O}_{19}$ melt at high pressure and high temperature. Global COE Symposium 2010 "Dynamic Earth and

- Heterogeneous Structure”, Sendai, Japan, P1-20, July 13, 2010.
- 20) Suzuki, A., Ohtani E., Sakamaki, T., Urakawa, S., Katayama, Y., Nishida, K., Tateyama, R., Kikegawa, T., Density and viscosity of lunar high-Ti magma at high pressure. 2010 Western Pacific Geophysics Meeting, V33C-05, Taipei, Taiwan, June 23, 2010.
- 21) Suzuki, A., Ohtani E., Nishida, K., Tateyama, R., Shibazaki, Y., Kikegawa, T., Viscosity of K2TiSi4O9 melt at high pressure and high temperature. Japan Geoscience Union Meeting 2010, SIT041-P04, Chiba, Japan, May 24, 2010.
- 22) Sakamaki, T., Ohtani E., Suzuki, A., Urakawa, S., Terasaki, H., Katayama, Y., Funakoshi, K., Density, viscosity and structure of basaltic magma under high pressure and high temperature. Japan Geoscience Union Meeting 2010, SIT041-09, Chiba, Japan, May 24, 2010.
- 23) Suzuki A., Ohtani E., Ando R., Terasaki H., Sakamaki T., Funakoshi K., Viscosity minimum of basaltic magma at high pressure. Global-Network symposium on Earth’s Dynamics, Sendai, Japan, Mar. 3, 2010.
- 24) Sakamaki T., Ohtani E., Urakawa S., Suzuki A., Terasaki H., Katayama Y., Funakoshi K., Density and structure of basaltic magma at high pressure and high temperature. Global-Network symposium on Earth’s Dynamics, poster, Sendai, Japan, Mar. 2, 2010.
- 25) Suzuki, A., Ohtani E., Nishida, K., Terasaki, H., Tateyama, R., Shiraishi, R., Kikegawa, T., Viscosity minimum of lunar high-Ti magma at high pressure and high temperature. International Conference on High Pressure Science and Technology (Joint AIRAPT-22 & HPCJ-50), 30B18, Tokyo, Japan, July 30, 2009.
- 26) Sakamaki, T., Ohtani E., Urakawa, S., Suzuki, A., Terasaki, H., Katayama, Y., Funakoshi, K., Density and structure of basaltic magma under high pressure and high temperature. International Conference on High Pressure Science and Technology (Joint AIRAPT-22 & HPCJ-50), 29P45, Tokyo, Japan, July 29, 2009.
- [図書] (計 2 件)
- 1) 西田圭佑, 大谷栄治, 鈴木昭夫, 立山隆二, 寺崎英紀, 亀卦川卓美, X線イメージングを用いた高圧下における鉄合金メルトの密度測定. PF 研究会「放射光高圧研究における実験技術の新展開—マルチアンビル型高圧装置を中心に—」, 15-20, 2011.
- 2) 西原遊, 大内智博, 川添貴章, Dirk Spengler, 田阪美樹, 平賀岳彦, 亀卦川卓美, 鈴木昭夫, 大谷栄治, 細粒カンラン石の高圧下でのレオロジー. PF 研究会「放射光高圧研究における実験技術の新展開—マルチアンビル型高圧装置を中心に—」, 11-14, 2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

鈴木 昭夫 (SUZUKI AKIO)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号：20281975