

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 20 日現在

機関番号：11301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2014

課題番号：25610153

研究課題名(和文)回転式粘度測定装置の開発

研究課題名(英文)Development of a new viscometer for high pressure experiments

研究代表者

鈴木 昭夫 (Suzuki, Akio)

東北大学・理学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：20281975

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、高温高压下での粘度測定を複数回可能にするための装置開発を行った。具体的には、上下反転ができる回転ステージに小型高压発生装置を取り付けた。このことにより、一度落球粘度測定を行って容器底部に白金球が達しても、装置ごと上下を反転させれば、再び落球を観察できるようになった。この装置を用い、今年度はDaphne7373オイルなどを試料に用い、温度・圧力を変えて粘度測定を行った。その結果、粘度の温度依存性と圧力依存性を求めることが出来た。

研究成果の概要(英文)：Viscosity of magma and fluid is a fundamental property in volcanic processes. Therefore, viscosities of various silicate melts have been extensively measured under high pressure. However, little is known about the pressure and temperature dependence of viscosity. The viscosity measurement under pressure has been carried out using the falling sphere method. In the experiments, a metal sphere is installed at the top of the sample container. When the sample is heated above the liquidus temperature at the desired pressure, the sphere starts falling in the liquid. The falling velocity is measured from X-ray radiography movie. However, by the conventional falling sphere method using an X-ray image, we obtain only one viscosity value at a certain pressure/temperature condition in one high pressure experiment. In the present study, we developed a rotation stage for a high pressure apparatus to repeat viscometry at high pressure. We obtained pressure and temperature dependences of liquids.

研究分野：実験岩石学

キーワード：粘度 高圧力 放射光 マグマ マントル フルイド

1. 研究開始当初の背景

マグマは地球内部で岩石が融けて生ずる。また、マグマの生成にはマントルに沈み込んだ海洋プレートから供給されたフルイドが深く関与すると考えられている。このように、地球内部の活動に液体は重要な役割を果たしているが、地球内部の高温高圧力下での液体の物性は十分な研究がなされているとは言いがたい。

マグマやフルイドの移動過程を考える上で重要な物理量は粘度であり、粘度の温度・圧力依存性を知ることは極めて重要である。しかしながら、これまでの方法では1回の実験で得られる情報が非常に少なく、十分な情報量を得るには多くの時間を費やす必要があった。

2. 研究の目的

高温高圧下での液体の粘度測定には、これまで落球法が用いられてきた。試料急冷法での落球実験では、まず、容器上部に白金などの高密度球を装填しておく。続いて融点以上の温度での保持時間を変えた複数の高温高圧実験を行い、それぞれの持続時間でどの位置まで球が落下しているかを回収試料で調べる。このため、一つの温度・圧力条件で粘度を得るためには、複数回の実験が必要である。一方、放射光を用いる X 線イメージング落球法では、球の落下を X 線ラジオグラフィでその場観察する。このため、試料急冷法とは異なり、一度の実験で粘度を測定できる。また、急冷法よりも低粘度の液体で測定が可能である。しかしながら、一度の実験で粘度を測定できるとはいえ、高温高圧下での測定には、加圧・減圧にそれぞれ数時間以上を要する。すなわち、十分な成果を得るには何日ものビームタイムを要することになる。昨今、放射光の運転時間が大幅に削減されている中で、益々ビームタイムは貴重になっており、一度の高温高圧実験において複数の温度・圧力条件での粘度測定値を得られるように技術開発を行うことは極めて重要である。

そこで本研究課題では、高温高圧下での粘度測定を複数回可能にするための装置開発を行うことにした。

3. 研究の方法

粘度測定の実験には、強力な X 線源である放射光を使用した。圧力媒体で覆われ、可視光では見えない高圧セル内部の観察は X 線ラジオグラフィで行った。粘度測定は落球法で行った。従来法と同様に、試料内部を落下する金属球の終速度測定にはラジオグラフィの動画像を用いた。

本研究での新しい取り組みとしては、上下反転ができる回転ステージに小型高圧発生装置を取り付ける装置を開発することにした。この装置を試用した粘度測定実験は、茨城県つくば市にある高エネルギー加速器研究機構(KEK)でおこなった。KEKの放射光施設であ

る PF-AR の NE7A ステーションには、MAX-III 型高圧発生装置が備え付けられている。NE7A は 2009 年に申請者らが中心となって立ち上げた高温高圧力実験ステーションで、強力な白色 X 線と単色 X 線を使用することが可能である。本研究では白色 X 線を使用し、低エネルギー側のビーム強度をアッテネータで下げて実験を行った。

通常の高圧高圧力実験では、Kawai 型あるいは Cubic 型マルチアンビルを MAX-III のガイドブロックに組み込み、MAX-III の油圧システムで加圧して地球内部の高圧力を発生させる。本研究では、ガイドブロックを MAX-III 本体から取り外し、そこにできたスペースに回転ステージおよび X 線ラジオグラフィシステムを取り付けた。また、ステージとカメラは NE7A 実験ハッチの外から制御できるようにした。予算と設置スペースの関係から、回転ステージおよび高圧発生装置は小型の変形ブリッジマン装置を試用した。パルスモーター駆動の回転ステージは、約 4 秒で反転することが出来る。

4. 研究成果

上下反転ができる回転ステージに小型高圧発生装置を取り付けることにより、一度落球粘度測定を行って容器底部に白金球が達しても、装置ごと上下を反転させることにより、再び落球を観察できるようになった。この装置を用いて、Daphne7373 オイルやシリコンオイルなどの試料について、温度・圧力を変えて粘度測定を行った。その結果、粘度の温度依存性と圧力依存性を求めることが出来た。現在、論文を投稿準備中である。

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 9 件)

1. Suzuki A., Pressure dependence of the viscosity of lunar magma. Photon Factory Activity Report, 30, 263, 2014. 査読無し
2. Doi N., Kato T., Kubo T., Noda M., Shiraishi R., Suzuki A., Ohtani E., Kikegawa T., Creep behavior during the eutectoid transformation of albite: Implications for the slab deformation in the lower mantle. Earth and Planetary Science Letters, 388, 92-97, doi:10.1016/j.epsl.2013.09.009, 2014. 査読有り
3. Dymshits A., Litasov K.D., Shatskiy A., Sharygin I.S., Ohtani E., Suzuki A., Pokhilenko N.P., P-V-T equation of state of Na-majorite to 21 GPa and 1673 K. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 227, 68-75, doi:10.1016/j.pepi.2013.11.005, 2014.

- 査読有り
4. Nishihara Y., Ohuchi T., Kawazoe T., Spengler D., Tasaka M., Hiraga T., Kikegawa T., Suzuki A., Ohtani E., Rheology of fine-grained forsterite aggregate at deep upper mantle conditions. *Journal of Geophysical Research*, 119, 253-273, doi:10.1002/2013JB010473, 2013. 査読有り
 5. Sakamaki T., Suzuki A., Ohtani E., Terasaki H., Urakawa S., Katayama Y., Funakoshi K., Wang Y., Hernlund J., Ballmer S., Ponded melt at the boundary between the lithosphere and asthenosphere. *Nature Geoscience*, 6, 1041-1044, doi:10.1038/NGE01092, 2013. 査読有り
 6. Shimoyama Y., Terasaki H., Ohtani E., Urakawa S., Takubo Y., Nishida K., Suzuki A., Katayama Y., Density of Fe-3.5 wt% C liquid at high pressure and temperature and the effect of carbon on the density of the molten iron. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 224, 77-82, doi:10.1016/j.pepi.2013.08.003, 2013. 査読有り
 7. Suzuki A., Compression behavior of manganite. *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 108, 295-299, doi:10.2465/jmps.130621b, 2013. 査読有り
 8. Gleason A.E., Quiroga C.E., Suzuki A., Pentcheva R., Mao W.L., Symmetrization driven spin transition in ϵ -FeOOH at high pressure. *Earth and Planetary Science Letters*, 379, 49-55, doi:10.1016/j.epsl.2013.08.012, 2013. 査読有り
 9. Ghosh S., Ohtani E., Litasov K.D., Suzuki A., Dobson D., Funakoshi K., Effect of water in depleted mantle on post-spinel transition and implication for 660 km seismic discontinuity. *Earth and Planetary Science Letters*, 371-372, 103-111, doi:10.1016/j.epsl.2013.04.011, 2013. 査読有り

〔学会発表〕(計 28 件)

1. 鈴木昭夫, 高压下における KAlSi_3O_8 メルトの粘度, 日本地球惑星科学連合 2015 年大会, 2015 年 5 月 26 日, 千葉県千葉市.
2. 鈴木昭夫, 回転式粘度測定装置を用いた高压下での液体の粘度測定, 第 32 回 PF シンポジウム, 2015 年 3 月 17 日, 茨城県つくば市.
3. 鈴木昭夫, 高温高压下における流体の粘度測定, 第 28 回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム, 2015 年 1 月 11 日, 滋賀県草津市.
4. 鈴木昭夫, 高压下における月マグマの粘度, 日本惑星科学会 2014 年秋季講演会, 2014 年 9 月 25 日, 宮城県仙台市.
5. 鈴木昭夫, チタンを含むマグマの高压下での粘度, 日本地球惑星科学連合 2014 年大会 2014 年 5 月 1 日, 神奈川県横浜市.
6. 鈴木昭夫, InOOH 型酸化水酸化物の圧縮挙動. 第 31 回 PF シンポジウム, 2014 年 3 月 18 日, 茨城県つくば市.
7. 鈴木昭夫, InOOH 型酸化水酸化物の圧縮特性. 第 27 回日本放射光学会年会, 2014 年 1 月 13 日, 広島県広島市.
8. Page M.E., Ohtani E., Suzuki A., Asahara Y., Saxena S., Synthesis of seifertite and its applications to shocked meteorites. AGU 2013 Fall Meeting, 2013 年 12 月 12 日, San Francisco, USA.
9. Ghosh S., Ohtani E., Suzuki A., Dobson D.P., Funakoshi K., Effect of water in depleted mantle on post-spinel transition and implication for 660 km seismic discontinuity. AGU 2013 Fall Meeting, 2013 年 12 月 11 日, San Francisco, USA.
10. Akamatsu H., Ohtani E., Suzuki A., Melting of the Fe-O-S system and reaction between olivine and iron melt at the lunar core conditions: Implications for the structure of the lunar core. AGU 2013 Fall Meeting, 2013 年 12 月 10 日, San Francisco, USA.
11. 浦川啓, 鹿室僚太, 鈴木昭夫, 河村雄行, $(\text{Fe}, \text{Ni})_3\text{S}_2$ 高压相の構造と 15GPa における Fe-Ni-S 系の相関係. 第 54 回高压討論会 2013 年 11 月 14 日, 新潟県新潟市.
12. 下山裕太, 寺崎英紀, 浦川啓, 西田圭佑, 田窪勇作, 鈴木昭夫, 近藤忠, 大谷栄治, 片山芳則, Fe-C 系融体の組成依存性と外核への適用. 第 54 回高压討論会, 2013 年 11 月 14 日, 新潟県新潟市.
13. 田窪勇作, 寺崎英紀, 下山裕太, 浦川啓, 桑原荘馬, 鈴木昭夫, 西田圭佑, 岡本美宝, 近藤忠, 片山芳則, 高温高压下における Fe-O メルトの熱弾性測定. 第 54 回高压討論会, 2013 年 11 月 14 日, 新潟県新潟市.
14. 鈴木昭夫, 船守展正, 石松直樹, 大谷栄治, 高輝度 3GeV 光源計画への高压科学コミュニティからの要望. 第 54 回高压討論会, 2013 年 11 月 14 日, 新潟県新潟市.
15. 大谷栄治, 富田東希生, 鈴木昭夫, ビヨン マイセン, かんらん石・水反応による鉄水素化物の生成. 第 54 回高压討論会, 2013 年 11 月 14 日, 新潟県新潟市.
16. 鈴木昭夫, MnOOH の状態方程式. 第 54 回高压討論会, 2013 年 11 月 14 日, 新潟県新潟市.

17. 鈴木昭夫, X-ray diffraction study of Rh_{00H} at high pressure. 日本鉱物科学会 2013 年年会, 2013 年 9 月 11 日, 茨城県つくば市.
18. 大谷栄治, 富田東希生, B. Mysen, 鈴木昭夫, 蛇紋岩化反応における鉄水素化物の役割. 日本鉱物科学会 2013 年年会, 2013 年 9 月 11 日, 茨城県つくば市.
19. 赤松明香, 大谷栄治, 鈴木昭夫, 月核条件での Fe-O-S 系の融解とオリビン・鉄メルトの反応: 月核マントル境界への応用. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 23 日, 千葉県千葉市.
20. 土井菜保子, 加藤工, 久保友明, 野田真彦, 長興陽子, 今村公裕, 白石令, 鈴木昭夫, 大谷栄治, 西原遊, 亀卦川卓美, 肥後祐司, シンクロトロン放射光分析による鉱物の高圧相転移とレオロジーに関する研究. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 23 日, 千葉県千葉市.
21. 井上徹, 山田明寛, 浦川啓, 鈴木昭夫, 有馬寛, 寺崎英紀, 大高理, 服部高典, 佐野亜沙美, J-PARC, PLANET における無水及び含水アルバイトガラスの高圧下中性子回折実験と中性子イメージング予備実験. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 22 日, 千葉県千葉市.
22. Kamuro R., Urakawa S., Suzuki A., kawamura K., Phase relationships of the Fe-Ni-S system at 15GPa. Japan Geoscience Union Meeting 2013, 2013 年 5 月 21 日, Chiba, Japan.
23. Shimoyama Y., Terasaki H., Ohtani E., Urakawa S., Takubo Y., Nishida K., Suzuki A., Katayama Y., The effect of carbon on density and elastic property of liquid Fe-C under high pressure. Japan Geoscience Union Meeting 2013, 2013 年 5 月 21 日, Chiba, Japan.
24. Tomita T., Mysen B., Ohtani E., Suzuki A., In-situ determination of NOHD species in coexisting silicate melt and fluid. Japan Geoscience Union Meeting 2013, 2013 年 5 月 20 日, Chiba, Japan.
25. Mysen B., Tomita T., Ohtani E., Suzuki A., Silicate-C-O-H-N fluids and melts at upper mantle temperatures, pressures, and redox conditions. Japan Geoscience Union Meeting 2013, 2013 年 5 月 20 日, Chiba, Japan.
26. Suzuki A., Viscosity of CO₂-bearing silicate melts at high pressure. Japan Geoscience Union Meeting 2013, 2013 年 5 月 20 日, Chiba, Japan.
27. Asahara Y., Ohtani E., Suzuki A., Solubility of carbon in metallic liquid under high pressure in the natural carbonaceous chondrite system. Japan Geoscience Union Meeting

- 2013, 2013 年 5 月 20 日, Chiba, Japan.
28. 鈴木昭夫, Thermal equation of state of manganite. 日本地球惑星科学連合 2013 年大会, 2013 年 5 月 20 日, 千葉県千葉市.

〔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 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
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
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