様　式　Ｃ－１９、Ｆ－１９－１、Ｚ－１９　（共通）

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

平成　３０　年　　６　月　１２　日現在

機関番号：　１１３０１
研究種目：　挑戦的萌芽研究
研究期間：　2016～2017
課題番号：　１６Ｋ１３９０１

研究課題名（和文）マントル流体の高温高圧実験を目指した圧力スケールの構築

研究課題名（英文）Development of a pressure scale for the experiments of geofuluid in the Earth's interior

研究代表者

鈴木　昭夫（SUZUKI, Akio）

東北大学・理学研究科・准教授

研究者番号：２０２８１９７５

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　　2,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ダイヤモンドアンビルセルを使用して高圧力を発生し、13C同位体を使って合成したダイヤモンドのラマンスペクトルを取得して圧力スケールを構築することを目的とした。まず、ダイヤモンドアンビルセルを搭載できるステージと、高圧力下でラマン測定ができるシステムを構築した。続いて、13Cダイヤモンドのラマンスペクトルを12GPaまで測定した。これ以上の圧力では、ダイヤモンドアンビルセルに使用している12Cダイヤモンドのラマンスペクトルと重なってしまうため、この圧力が適用限界であることが示された。ラマンスペクトルの圧力依存性を多項式でフィッティングし、圧力スケールを構築することができた。

研究成果の概要（英文）：In the experimental study of geofluid using an externally heating diamond anvil cell (EHDAC), the determination of pressure in situ is necessary. Mysen and Yamashita (2010) established a pressure scale using the Raman spectra of 13C diamond. Because we can distinguish Raman modes from 12C diamond of anvil diamonds and 13C diamond in a sample chamber. However, the pressure scale is applicable in the pressure condition of the Earth’s crust. The purpose of this study is to determine a pressure scale, which is applicable under the pressure corresponding to the upper mantle, based on the Raman spectra of 13C diamond. We set up an experimental system to collect the Raman spectra of the sample in an EHDAC. We obtained Raman spectra of 13C diamond in EHDAC up to 12 GPa, which correspond to the bottom of the upper mantle. Under higher pressure a Raman mode of 13C diamond overlapped that of 12C anvil diamond. We are now determining an equation for a pressure scale.

研究分野：　実験岩石学

キーワード：　マントル　流体　圧力スケール　ラマン分光

１．研究開始当初の背景

地球深部のフルイドに関する実験を行う際には外熱式ダイヤモンドアンビルセルが用いられる。高圧地球科学において、圧力は地球内部の深さと対応付けるため、正確に決定する必要がある。しかしながら、従来の圧力スケールには適用限界があり、上部マントル深部の実験には用いることが出来なかった。

２．研究の目的

本研究では、ダイヤモンドアンビルセルを使用して高圧力を発生し、^{13}C 同位体を使って合成したダイヤモンドのラマンスペクトルを取得して圧力スケールを構築することを目的とした。

３．研究の方法

ダイヤモンドアンビルセルを搭載できるステージと、高圧力下でラマン測定ができるシステムを構築した。

４．研究成果

13C ダイヤモンドのラマンスペクトルを 12GPa まで測定した。これ以上の圧力では、ダイヤモンドアンビルセルに使用している 12C ダイヤモンドのラマンスペクトルと重なってしまうため、この圧力が適用限界であることが示された。ラマンスペクトルの圧力依存性を多項式でフィッティングし、圧力スケールを構築することができた。解析結果をまとめ、発表の準備をしている。また、本研究はマントル中のフルイドに関する実験への適用も目的としていた。高温高圧下で $NaAlSi_3O_8$-H_2O-NaCl 系の熔融実験を行い、融点を決定した。また、この際の液の化学組成に制約を与えることができた。その結果、系に NaCl を含む場合と含まない場合で融点が異なることを明らかにした。これにより、海水で変質し、塩を含む海洋プレートが沈み込む際のフルイドの挙動を考察することができた。さらに、地球内部に運び込まれたフルイドは含水鉱物中に取り込まれる。我々は以前、ダイアスポアの高圧相として InOOH 型の δ-AlOOH を発見し、地球深部に水を運び込む重要な物質であることを提唱した。本研究では、InOOH 型および Diaspore 型の酸化水酸化物について、高温高圧力下でX線回折実験を行い、状態方程式を決定した。これにより、地球深部での水の挙動とその果たす役割について考察することができた。以上の研究成果を踏まえ、マントル中のフルイドの物性と挙動に関する研究をさらに発展させるために、科学研究費補助金と高エネルギー加速器研究機構の実験課題を申請している。

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 13 件）

1) Abe, R., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Ohira, I., Tobe, H., and Suzuki, A., In situ X-ray diffraction studies of hydrous aluminosilicate at high pressure and temperature. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, **査読有**, 113, 106-111, 2018. DOI:10.2465/jmps.170714

2) Yuan, L., Ohtani, E., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Jin, Z., Suzuki, A., and Frost, D.J., The stability of anhydrous phase B, $Mg_{14}Si_5O_{24}$, at mantle transition zone conditions. Physics and Chemistry of Minerals, **査読有**, 45, 523-531, 2018. DOI:10.1007/s00269-017-0939-5

3) Suzuki, A., P–V–T equation of state of rhodium oxyhydroxide. High Pressure Research, **査読有**, 38, 145-152, 2018. DOI:10.1080/08957959.2018.1435784

4) Urakawa, S., Kamuro, R., Suzuki, A., and Kikegawa, T., Phase relationships of the system Fe-Ni-S and structure of the high-pressure phase of $(Fe_{1-x}Ni_x)_3S_2$ Physics of the Earth and Planetary Interiors, **査読有**, 277, 30-37, 2018. DOI:10.1016/j.pepi.2018.01.007

5) Yuan, L., Ohtani, E., Ikuta, D., Kamada, S., Tsuchiya, J., Hirao, N., Ohishi, Y., and Suzuki, A., Chemical reactions between Fe and H_2O up to megabar pressures and implications for water storage in the Earth's mantle and core. Gephysical Research Letters, **査読有**, 45(3), 1330-1338, 2018. DOI: 10.1002/2017GL075720

6) Suzuki, A., Effect of carbon dioxide on the viscosity of a melt of jadeite composition at high pressure. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, **査読有**, 113, 47-50, 2018. DOI:10.2465/jmps.170717

7) Kawazoe, T., Ohira, I., Ishii, T., Boffa Ballaran, T., McCammon, C., Suzuki, A. and Ohtani, E., Single crystal synthesis of δ-(Al,Fe)OOH. American Mineralogist, **査読有**, 102, 1953-1956, 2017.

DOI:10.2138/am-2017-6153

8) Ohuchi, T., Kawazoe, T., Higo, Y. and Suzuki, A., Flow behavior and microstructures of hydrous olivine aggregates at upper mantle pressures and temperatures. Contributions to Mineralogy and Petrology, **査読有**, 172, 65 (pp.26), 2017. DOI:10.1007/s00410-017-1375-8

9) Suzuki, A., Thermal equation of state of goethite (α-FeOOH). High Pressure Research, **査読有**, 37, 193-199, 2017. DOI: 10.1080/08957959.2017.1301938

10) Fukuyama, K., Ohtani, E., Shibazaki, Y., Kagi, H., Suzuki, A., Stability field of phase Egg, $AlSiO_3OH$, at high pressure and high temperature: a possible water reservoir in mantle transition zone. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, **査読有**, 112, 31-35, 2017. DOI: 10.2465/jmps.160719e

11) Suzuki, A., Pressure-volume-temperature equation of state of ε-FeOOH to 11 GPa and 700 K. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, **査読有**, 111, 420-424, 2016. DOI: 10.2465/jmps.160719c

12) Sakamaki, T., Suzuki, A., Mysen, B., Preface for the article collection "High-Pressure Earth and Planetary Science in the last and next decade". Progress in Earth and Planetary Science, **査読有**, 3, 38, 2016. DOI: 10.1186/s40645-016-0114-5

13) Nishida, K., Suzuki, A., Terasaki, H., Shibazaki, Y., Higo, Y., 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. Physics of the Earth and Planetary Interiors, **査読有**,257, 230-239, 2016. DOI: 10.1016/j.pepi.2016.06.009

〔**学会発表**〕（**計 50 件**）

1) Suzuki, A., Viscosity of depolymerized silicate melt and magma in the Earth's deep interior. Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

2) Hisano, N., Sakamaki, T., Ohashi, T., Funakoshi, K., Higo, Y., Shibazaki, Y. and Suzuki, A., Correlation between structure and elastic wave velocity of pyrope glass at high pressure. Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

3) Nakajima, A., Sakamaki, T., Kawazoe, T. and Suzuki, A., Melting phenomenon at the top of the lower mantle. Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

4) Abe, R., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Ohira, I., Tobe, H. and Suzuki, A., Stability of hydrous aluminosilicates at the transition zone and the lower mantle. Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

5) Ohashi, T., Sakamaki, T., Hisano, N., Higo, Y., Shibazaki, Y. and Suzuki, A., Understanding of low velocity anomaly in the asthenosphere inferred from elastic wave velocity measurement of partially molten rocks. Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

6) Yuan, L., Ohtani, E., Ikuta, D., Kamada, S., Tsuchiya, J., Hirao, N., Ohishi, Y. and Suzuki, A., Chemical reactions between Fe and H_2O up to megabar pressures and implications for water storage in the Earth's mantle and core. Japan Geoscience Union Meeting 2018, 2018.

7) Ohashi, T., Sakamaki, T., Hattori, T., Sano-Furukawa, A., Funakoshi, K., and Suzuki, A., Structure of basaltic glass under high pressure by in-situ X-ray and neutron diffraction investigations. Interaction and Coevolution of the Core and Mantle Toward Integrated Deep Earth Science, International

Symposium and FY2017 Annual General Meeting, 2018.

8) Nakajima, A., Sakamaki, T., Kawazoe, T., and Suzuki, A., Melting experiments of hydrous peridodite under the top of the lower mantle conditions. Interaction and Coevolution of the Core and Mantle Toward Integrated Deep Earth Science, International Symposium and FY2017 Annual General Meeting, 2018.

9) Suzuki, A., Physical properties of volatile-bearing magmas in the Earth's deep interior. Interaction and Coevolution of the Core and Mantle Toward Integrated Deep Earth Science, International Symposium and FY2017 Annual General Meeting, 2018.

10) Ohashi, T., Sakamaki, T., Hattori, T., Sano-Furukawa, A., Funakoshi, K., and Suzuki, A., Structure measurements of basaltic glass at high pressure using X-ray and neutron diffraction techniques. The 5th Workshop for Extreme Materials Science "Silicate Melt/Glass", 2017.

11) Yuan, L., Ohtani, E., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Jin, Z., Suzuki, A. and Frost, D.J., The stability of anhydrous phase B, $Mg_{14}Si_5O_{24}$, at mantle transition zone conditions. High-Pressure Mineral Physics Seminar 9 (HPMPS9), 2017.

12) Ohira, I., Kamada, S., Jackson, J.M., Sturhahn, W., Finkelsten, G.J., Kawazoe, T., Maeda, F., Hirao, N., Suzuki, A. and Ohtani, E., Compressional behavior of δ-(Al,Fe)OOH to lower mantle pressures. High-Pressure Mineral Physics Seminar 9 (HPMPS9), 2017.

13) Maeda, F., Kamada, S., Sakamaki, T., Hirao, N., Ohishi, Y. and Suzuki, A., Compressibility of $MgCO_3$ phase II under the lowermost mantle conditions. High-Pressure Mineral Physics Seminor 9 (HPMPS-9), 2017.

14) Yuan, L., Ohtani, E., Ikuta, D., Kamada, S., Tsuchiya, J., Hirao, N., Ohishi, Y. and Suzuki, A., Chemical reactions between Fe and H_2O up to megabar pressures and implications for water storage in the Earth's mantle and core. IRTG Doctoral seminar, 2017.

15) Ohira, I., Jackson, J.M, Sturhahn, W., Finkelstein, G.J., Kamada, S., Kawazoe, T., Maeda, F., Hirao, N., Nakano, S., Suzuki, A. and Ohtani, E., X-ray diffraction and nuclear resonance scattering measurements δ-(Al, Fe)OOH at lower mantle pressures. IRTG Doctoral seminar, 2017.

16) Maeda, F., Kamada, S., Sakamaki, T., Miyajima, N., Hirao, N., Ohishi, Y. and Suzuki, A., Phase relation of $MgCO_3$ high-pressure carbonate under the deep lower mantle conditions. 55th The European High Pressure Research Group (EHPRG) Meeting, 2017.

17) Nakajima, A., Sakamaki, T., Hisano, N., Horioka, Y., Ohashi, T. and Suzuki, A., Densification of calcium-aluminum-siilcate glass at the pressure of ~5.5 GPa. The 55th European High Pressure Research Group (EHPRG) Meeting, 2017.

18) Suzuki, A., Horioka, Y. and Hisano, N., X-ray diffraction study of rhodium oxyhydroxide at high pressure. The 55th European High Pressure Research Group (EHPRG) Meeting, 2017.

19) Ohira, I., Jackson, J.M, Sturhahn, W., Finkelstein, G.J., Kamada, S., Kawazoe, T., Maeda, F., Hirao, N., Nakano, S., Suzuki, A. and Ohtani, E., Sound velocity and elasticity of δ-(Al, Fe)OOH to lower mantle pressures. The 55th European High Pressure Research Group (EHPRG) Meeting, 2017.

20) Yuan, L., Ohtani, E., Suzuki, A. and Jin, Z., Stability of anhydrous phase B, $Mg_{14}Si_5O_{24}$, at the mantle transition zone conditions. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

21) Ohira, I., Kawazoe, T., Ishii, T., Boffa Ballalaran, T., McCammon, C., Suzuki, A. and Ohtani, E., Single crystal synthesis of δ-(Al,Fe)OOH using multi-anvil apparatus. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

22) Horioka, Y., Kamada, S., Ozawa, S., Maeda, F., Satish-Kumar, M. and Suzuki, A., Partitioning of sulfur beween basaltic magma and Fe-FeS liquid. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

23) Suzuki, A., Stability and thermos-elastic properties of iron oxide hydroxide: water transportation in the Earth's interior. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

24) Suzuki, A., Viscosity of CO_2-bearing sodium aluminosilicate melt at high pressure. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

25) Maeda, F., Kamada, S., Sakamaki, T., Hirao, N., Ohishi, Y. and Suzuki, A., High-pressure phase transitions of $MgCO_3$ under the lower mantle conditions. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

26) Abe, R., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Ohira, I., Tobe, H. and Suzuki, A., In situ X-ray diffraction studies of hydrous aluminosilicate at high pressure and temperature. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

27) Tanaka, R., Sakamaki, T., Fuukui, H., Ohtani, E., Kamada, S., Sato, S., Tsutsui, T., Uchiyama, Y., Baron, AQR. and Suzuki, A., The sound velocity measurements of FeO at high pressure and temperature: Implications for the low velocity anomaly around the core-mantle boundary. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, SIT22-16, Chiba, Japan, May 20–25, 2017.

28) Watanabe, K., Kamada, S., Ozawa, S., Suzuki, A. and Bass, J., Light elements in the core based on elemental partitioning experiments between Fe-S melts and silicate magma. JpGU-AGU Joint Meeting 2017, 2017.

29) Ohira, I., Ohtani, E., Kamada, S., Hirao, N., Suzuki, A., The Role of New Hydrous Phase δ-AlOOH - $MgSiO_4H_2$ Phase H - ε-FeOOH Solid Solution in the Earth's Deep Water Cycle. Origin and Evolution of Deep Primordial Reservoirs "Winter School 2017", 2017.

30) Tanaka, R., Sakamaki, T., Fukui, H., Ohtani, E., Kamada, S., Sato, S., Tsutsui, S., Uchiyama, H., Baron, A.Q.R., Suzuki, A., Sound velocity and density of FeO at high pressure and temperature. AGU Fall Meeting 2016, 2016.

31) Ohira, I., Ohtani, E., Kamada, S., Hirao, N., Suzuki, A., Water transport to the lowermost mangle driven by δ-AlOOH-phase H ($MgSiO_4H_2$) solid solution. AGU Fall Meeting 2016, 2016.

32) Yuan, L., Ohtani, E., Suzuki, A., Jin, Z., Stability of anhydrous phase B, $Mg_{14}Si_5O_{24}$, in the mantle transition zone. 2016 International Conference on the Earth's Deep Interior, 2016.

33) Abe, R., Suzuki, A., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Ohira, I., Ohtani, E., Stability of high-pressure polymorph of topaz-OH. The 54th European High Pressure Research Group (EHPRG) International Meeting on High Pressure Science and Technology, 2016.

34) Fuchizaki, K., Suzuki, A., Nishida, K., Saitoh, H., Hamaya, N., The existence of a density maximum in fluid tin tetraiodide. The 54th European High Pressure Research Group (EHPRG) International Meeting on High Pressure Science and Technology, 2016.

35) Ohtaka, O., Morimoto, A., Yoshiasa, A., Tobase, T., Nakatsuka, A., Kikegawa, T.,

Suzuki, A., Arima, H., Saitoh, H., Phase relations of CuBr under high pressure and temperature. The 54th European High Pressure Research Group (EHPRG) International Meeting on High Pressure Science and Technology, 2016.

36) Suzuki, A., X-ray diffraction study of FeOOH under high pressures and high temperatures. The 54th European High Pressure Research Group (EHPRG) International Meeting on High Pressure Science and Technology, 2016.

37) Suzuki, A., Viscosity of basaltic magma at high pressure. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016.

38) Fukuyama, K., Ohtani, E., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Suzuki, A., Stability fields of phase egg under high pressure and high temperature: Possibility of phase Egg as a water reservoir in mantle transition zone. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016.

39) Suzuki, A., Transportation of hydrogen by iron oxide-hydroxide in the Earth's interior. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016.

40) Nishida, K., Suzuki, A., Shibazaki, Y., Wakabayashi, D., Funamori, N., Technical development and improvement for sound velocity measurements of liquid Fe-S up to 15 GPa using ultrasonic pulse-echo method. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016.

41) Abe, R., Suzuki, A., Shibazaki, Y., Ozawa, S., Ohira, I., Ohtani, E., The stability of Topaz-OH II in the mantle transition zone. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016.

42) Kamada, S., Sakairi, T., Sakamaki, T., Ohtani, E., Terasaki, H., Fukui, H., Baron, A.Q.R., Suzuki, A., Uchiyama, H., Tsutsui, S., Sound velocity Fe3S at high pressure and high temperature based on inelastic X-ray scattering. Japan Geoscience Union Meeting 2016, 2016.

〔図書〕（計 1 件）

1) **鈴木昭夫，第３章** 3.4 **鉱物とマグマの密度・粘性，図説地球科学の事典，（鳥海光弘　他編），** pp.248**，朝倉書店，東京**, 2018. ISBN978-4-254-16072-7

〔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
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

(2)研究分担者
（　　）

研究者番号：

(3)連携研究者
（　　）

研究者番号：

(4)研究協力者
（　　）