

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：84502

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740315

研究課題名(和文)焼結ダイヤモンドアンビルを用いた下部マントル条件下での弾性波速度測定法の開発

研究課題名(英文)Development of the elastic wave velocity measurement technique under lower mantle conditions using sinter diamond anvil

研究代表者

肥後 祐司(Higo, Yuji)

公益財団法人高輝度光科学研究センター・利用研究促進部門・研究員

研究者番号：10423435

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：焼結ダイヤモンドアンビルを2段アンビルとして使用し、川井型高圧発生装置を用いて、約50GPaまでの高温高圧条件下での弾性波速度測定に成功した。研究では超音波速度測定システムの高度化や、高圧実験セルの最適化をおこなった。本実験条件は、下部マントル中部の温度圧力条件に相当し、本開発技術を用いて下部マントル構成鉱物の精密弾性波速度測定が可能となった。

研究成果の概要(英文)：we improved the ultrasonic measurement system to obtain the elastic wave velocity under the condition of the lower mantle region, installing the high frequency waveform generator, the post amplifier and the semiconductor with a high-speed relay in the Kawai-type multi-anvil apparatus (SPEED-1500) at SPring-8. We successfully obtained the elastic wave velocities of the lower mantle mineral up to 50GPa and 1073K, corresponding to the lower mantle P-T conditions.

研究分野：固体地球科学

キーワード：下部マントル 超音波 弾性波速度 川井型高圧装置 高温高圧

1. 研究開始当初の背景

下部マントルは深くなるにつれて地震波速度が緩やかに増加し、また地震波速度の地域的变化が小さく、比較的均質な領域として知られている。また、下部マントルは地球全体の体積の約50%を占め、マントル対流やマントルプルームの主な舞台であり、地球全体のダイナミクスを理解する上で、下部マントルの化学組成や物理状態の解明は不可欠であるといえる。しかしながら、実験的な困難さから、下部マントル構成鉱物の高温高压下での弾性率や物性は十分に明らかにされておらず、それゆえ下部マントルの化学組成や温度分布に関しては不明な点も多い。

マントルの化学組成については、地球化学的研究から、パイロライトやピクロジャイトと称されるモデル岩石が提案されてきた。両者のモデルでは化学組成(特にSiO₂)に大きな違いがあり、未だいずれの化学組成モデルが妥当であるか明らかになっておらず、地球深部科学上の最重要研究課題の一つとなっている。下部マントルの化学組成を推定するほとんど唯一の方法は、地震波速度観測データと実験で得られたマントル鉱物の弾性波速度データを比較し、地震波速度観測データを再現するマントルの化学組成を推定する方法である。そこで本研究では、下部マントル条件下での弾性波速度データと地震波速度データを直接比較することにより、従来にはない高い精度で下部マントルの化学組成の解明をめざす。

2. 研究の目的

本研究はこれまで測定不可能であった、下部マントル中部条件に対応する~60GPa、1800 の高压高温条件での弾性波速度精密測定技術の開発と、下部マントル構成鉱物の弾性波速度を実際の下部マントル条件下で測定することに最大の特徴がある。既にマントル遷移層条件下での高精度の弾性波速度測定を実現しており、この技術に基づいて超音波法を用いた弾性波速度測定の下部マントル条件へ拡張する。焼結ダイヤモンドアンビルを用いた高压発生では、SPring-8/BL04B1で90GPaを超える圧力発生に成功している。この技術と超音波測定システムを組み合わせて、下部マントル条件下での弾性波速度測定をおこなう。

3. 研究の方法

下部マントル条件の圧力発生を可能にするために、アンビル先端サイズ1.5mm(TEL=1.5)を用いた超音波測定用セルの開発をおこなう。これに伴い、試料サイズも直径・長さともに0.4mm程度となり、弾性波速度の必要な測定精度(<0.5%)を確保するためには振動子の更なる高周波数化やこれに伴うノイズ対策、試料長測定精度の向上などを、下記の超音波測定システムの開発と並行して行う必要がある。また、焼結ダイヤモンド

アンビルに適した圧力媒体やガセットの最適化もおこなう。

更なる高压下で弾性波速度測定をするためには、試料の小型化とそれに伴う超音波エコーの弱化は避けられない。そこで、超音波の入出力の信号を分岐する半導体リレー(FET-switch)と低ノイズアンプを超音波エコー測定システムに導入し、微弱な超音波エコーでの弾性波速度の測定を可能にする。また、超高分解能X線CCDカメラに拡大レンズ系を組み合わせることで、サブミクロンオーダーで試料長の変化を捉え、小型試料においても高精度な弾性波速度の見積もりを可能にする。

大型放射光施設SPring-8設置のマルチアンビル型高压発生装置と開発した高压セルを用いて、下部マントルに匹敵する30GPa以上、約1600 の高温高压条件下で弾性波速度を測定する。試料は下部マントルに存在するとされる鉱物(Mg-ペロプスカイト、(Mg,Fe)O-マグネシオウスタイト)を主な測定対象とする。

4. 研究成果

実験試料は愛媛大学設置の3000トンプレス及び、岡山大学設置の5000トンプレスで合成・焼結した。これらの大型プレスを使用することで、均一加熱や静水圧性をおこなえ、超音波測定に適した均質な焼結体が合成できた。

超音波測定システムでは、(株)サムウェイと共同で入出力信号を分離するデュプレクサを開発した。本装置によって超音波エコーによる微小電圧を高いS/Nで測定できるようになった。

圧力媒体には(Mg,Co)Oの半焼結体を一辺4.0mmの八面体に加工した物を用いた。ヒーターにはX線の透過性に優れたTiB₂を使用し、またバッファロードには超微粒のAl₂O₃焼結体を使用した。また試料の両端には厚さ2.5µmの金箔を張り付け、これにより、X線ラジオグラフィ像により試料の長さを高い精度で測定できた。

実験はSPring-8のBL04B1に設置の川井型高压発生装置(SPEED-Mk2)を用いて行われ、まず目的の荷重まで常温下で加圧した。荷重8MNで約50GPaの圧力発生に成功した。その後、800 まで加熱してXRD、X線ラジオグラフィ像、超音波エコーなどを収集した。詳細はまだ解析中であるが、40GPa付近で(Mg,Fe)O-マグネシオウスタイトの音響インピーダンスの不連続な変化を検出しており、鉄のスピン転移に関連した弾性変化が起こっていると予測される。今後、本研究で開発した実験技術を使って下部マントル構成鉱物の詳細な弾性率の測定をおこなう。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計8件)

C. Zhou, S. Gréaux, N. Nishiyama, T. Irifune, Y. Higo, Sound velocities measurement on MgSiO₃ akimotoite at high pressures and high temperatures with simultaneous in situ X-ray diffraction and ultrasonic study, Phys. Earth Planet. Inter., 228, 97-105, doi:10.1016/j.pepi.2013.06.005, 2015.

Y. Shibazaki, H. Terasaki, E. Ohtani, R. Tateyama, K. Nishida, K. Funakoshi, Y. Higo, High-pressure and high-temperature phase diagram for Fe_{0.9}Ni_{0.1}-H alloy, Phys. Earth Planet. Inter. 228, 192-201, 2014. doi:10.1016/j.pepi.2013.12.013

E. Ito, D. Yamazaki, T. Yoshino, S. Shan, X. Guo, N. Tsujino, T. Kunimoto, Y. Higo, K. Funakoshi, High pressure study of transition metal monoxides MnO and CoO: Structure and electrical resistance, Phys. Earth Planet. Inter. 228, 170-175, 2014. doi:10.1016/j.pepi.2013.12.009

D. Yamazaki, E. Ito, T. Yoshino, N. Tsujino, A. Yoneda, X. Guo, F. Xu, Y. Higo, K. Funakoshi, Over 1 Mbar generation in the Kawai-type multianvil apparatus and its application to compression of (Mg_{0.92}Fe_{0.08})SiO₃ perovskite and stishovite, Phys. Earth Planet. Inter. 228, 262-267, 2014. doi:10.1016/j.pepi.2014.01.013

M. Nishi, T. Irifune, J. Tsuchiya, Y. Tange, Y. Nishihara, K. Fujino, Y. Higo, Stability of hydrous silicate at high pressure and water transport to the deep lower mantle, Nature Geoscience, 7(3), 224-227, 2014. doi:10.1038/ngeo2074

K. Nishida, Y. Kono, H. Terasaki, S. Takahashi, M. Ishii, Y. Shimoya, Y. Higo, K. Funakoshi, T. Irifune, E. Ohtani, Sound velocity measurements in liquid Fe-S at high pressure: Implications for Earth's and lunar cores, Earth Planet. Sci. Lett. 362, 182-186, 2013. doi:10.1016/j.epsl.2012.11.042

Y. Zou, S. Gréaux, T. Irifune, B. Li, Y. Higo, Unusual Pressure Effect on the Shear Modulus in MgAl₂O₄ spinel, J. Phys. Chem. C, 117(46), 24518-24526, 2013. doi:10.1021/jp404901a

M. Matsui, Y. Higo, Y. Okamoto, T. Irifune, K. Funakoshi, Simultaneous sound velocity and density measurements of NaCl at high temperatures and high pressures:

application as a primary pressure standard, Am. Mineral., 97(10), 1670-1675, 2012. doi:10.2138/am.2012.4136 (すべて査読有)

〔学会発表〕(計 4件)

肥後祐司、Development of Ultrasonic Measurement Technique under Lower Mantle Conditions、ACHPR-7 (招待講演) 2015年1月16日~18日、タイ・バンコク・Chulalongkorn University

肥後祐司、焼結ダイヤモンドを用いた下部マントル条件下での弾性波速度測定技術開発、第54回高圧討論会、2013年11月14日~16日、新潟県新潟市・朱鷺メッセ

肥後祐司、Development of the elastic wave velocity measurement technique by the ultrasonic method to lower mantle condition、AGU FALL MEETING 2012、2015年12月3日~7日、USA・サンフランシスコ・MOSCON センター

肥後祐司、下部マントル構成鉱物の弾性波速度測定、第53回高圧討論会、2012年11月7日~9日、大阪府豊中市・大阪大学

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 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
肥後 祐司 (HIGO, Yuji)

公益財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門、研究員
研究者番号：10423435

(2)研究分担者
()

研究者番号：

(3)連携研究者
()

研究者番号：