

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 16 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究（A）

研究期間：2010～2012

課題番号：22684028

研究課題名（和文）高温高压下弾性波速度測定による下部マントルの鉱物学的モデル構築と不均質構造の解明

研究課題名（英文）Elucidation of mineralogical model of the lower mantle by in-situ high pressure and high-temperature sound velocity measurements

研究代表者

村上 元彦（MURAKAMI MOTOHIKO）

東北大学・大学院理学研究科・准教授

研究者番号：50401542

研究成果の概要（和文）：大型放射光施設 SPring-8 にて導入した弾性波速度測定装置にレーザー加熱装置を組み込み、高温高压条件での測定を可能にした。MgO、(Mg, Fe)O 及びアルミを含有するケイ酸塩ペロブスカイト相の最下部マントル圧力条件、及び MgO、MgSiO₃ ペロブスカイト相の高温高压条件での弾性波速度測定、さらに SiO₂、MgSiO₃ ガラスの 200 万気圧を超える横波速度測定に成功し、下部マントルの鉱物学モデルに強い制約を与えた。

研究成果の概要（英文）：Newly developed in-situ high-pressure and high-temperature sound velocity measurement system revealed the sound wave propagating velocities of various lower mantle phases including MgO, H₂O, (Mg, Fe)O, Mg-perovskite, SiO₂ glass and MgSiO₃ glass which lead to put the tighter constraints on the mineralogical model of the lower mantle.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	17,500,000	5,250,000	22,750,000
2011年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2012年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	20,600,000	6,180,000	26,780,000

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：地球深部構造

1. 研究開始当初の背景

地球深部における鉱物の精密な弾性波速度の測定、及び物性値（弾性定数）の決定は、地震波の観測結果に対して極めて大きな制約を与えるという意味だけでなく、地球深部における物質循環、対流様式などのダイナミクスを議論するために必要不可欠である。しかしながら近年、主に放射光 X 線を用いた高温高压 X 線回折測定技術の急速な進歩により、下部マントル深部の相関係や元素挙動につ

いてマントル最深部にいたる温度圧力条件について実験的に明らかになりつつある一方で、下部マントル深部条件における鉱物の物性値（弾性波、弾性定数）測定に関する信頼できる実験データはその実験の困難さ及び実験技術の問題などにより現在までにほとんど報告されていない。このような地球深部における鉱物の弾性波速度や弾性定数に関する実験データの決定的な欠如により、我々は下部マントルがどのような化学組成

を持ち、あるいは鉱物がどのような量比で存在し、相転移でどのように地震波速度が変化するのか、などの非常に基本的かつ重要な問いに未だに答えることができていない。

2. 研究の目的

ダイヤモンドアンビルセル高圧装置とブリュアン散乱測定法を用いてマントル最下部まで（深さ約 2900km; 圧力約 135GPa）にいたる超高温高圧状態のマントル鉱物の物性研究を行い、高温高圧条件における鉱物の弾性波速度及び弾性定数を決定し、最下部マントルにいたるまでの全下部マントルのダイナミクスを解明することを目的とする。

3. 研究の方法

鉱物中の弾性波速度を光学的手法により非常に精密に直接測定することが可能であり、地球科学分野においてごく最近、非常に興味深い結果を出しつつあるブリュアン散乱の物性精密測定技術に注目し、本技術と静的に地球中心部までの温度圧力条件の発生が可能なレーザー加熱式（及び外熱式）ダイヤモンドアンビルセル装置とを組み合わせることで、マントル最深部にいたるまでの温度圧力条件における構成鉱物の弾性波速度と弾性定数を決定し、下部マントルのダイナミクスを定量的に明らかにすることを旨とする。

4. 研究成果

大型放射光施設 SPring-8 にて導入した「その場」超高圧力条件下での弾性波速度測定装置にダイヤモンドアンビルセル加熱用の赤外線レーザー加熱装置を組み込み、高温高圧条件での弾性波速度測定を可能にしたこの成果は (Murakami et al. 2009 *PEPD*) にて論文発表を行った。また、この大型放射光施設 SPring-8 にて導入した「その場」超高圧力条件下での弾性波速度測定装置を用いて、下部マントル構成鉱物の単純組成の一つである MgO の最下部マントル圧力条件（圧力約 130 万気圧）までの横波速度を決定し、下部マントルの鉱物学モデルに強い制約を与えた。この成果は (Murakami et al. 2009 *EPSL*) にて論文発表を行った。また大型放射光施設 SPring-8 にて導入した「その場」超高圧力条件下での弾性波速度測定装置レーザー加熱装置を用いて、世界で初めて下部マントル圧力条件下での固体 (氷) 及び液体状態での H₂O の弾性波速度測定に成功した。この成果は (Asahara et al. 2010a *EPSL*, Asahara et al. 2010b *EPSL*) として論文発表を行った。さらに大型放射光施設 SPring-8 にて導入した「その場」超高圧力条件下での弾性波速度測定装置を用いて下部マントル構成鉱物のひとつである (Mg, Fe)O 及びアルミを含有するケイ酸塩ペロブスカイト相の最下部マントル圧

力条件（圧力約 130 万気圧）の横波速度測定を行った。また下部マントル構成鉱物の単純組成を有する MgO, MgSiO₃ ペロブスカイト相の高温高圧条件での弾性波速度測定に成功し、下部マントルの鉱物学的モデルの検討を行った。この結果、下部マントルは従来考えられていた化学組成よりもより SiO₂ 成分に富む、つまり珪酸塩ペロブスカイト相の割合が非常に高いことが明らかになった。このことは、地球のマントルは、上部と下部で化学組成の異なる 2 層構造であるということを示しており、地球進化の歴史、対流様式に対して強い制約を与える結果となった。この成果は (Murakami et al. 2012 *Nature*) にて論文発表を行った。また、イリノイ大学アーバナシャンペーン校の Jay Bass 教授との共同研究によって、ブリュアン散乱法を用いてケイ酸塩ガラスの超高圧力条件下での弾性波速度測定を行い、SiO₂ 及び MgSiO₃ ガラスにおいて 200GPa を超える圧力条件下での横波速度測定に成功した。本結果では、100GPa を超えるような条件で、ガラスの超高密度化を示唆するような構造変化とみられる異常な速度上昇が起こることを見出した。このことは、地球深部のマグマが圧力 100 万気圧を超えて周囲の鉱物相よりもより密度が高くなるということを強く示しており、現在、地球の核-マントル境界付近において、地震波の超低速度層の原因と考えられているマグマの存在に対して、その重力的な安定性を支持するものである。本実験結果は静的圧力条件下での弾性波速度測定における世界最高圧力記録でもある。本成果はそれぞれ SiO₂ ガラスに関しては (Murakami & Bass, 2010 *PRL*) にて、また MgSiO₃ ガラスに関しては (Murakami & Bass, 2011 *PNAS*) にて論文発表された。

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 Sound velocities of Na_{0.4}Mg_{0.6}Al_{1.6}Si_{0.4}O₄ NAL and CF phases to 73 GPa determined by Brillouin scattering method
L Dai, Y Kudo, K Hirose, M Murakami, Y Asahara, H Ozawa, Y Ohishi, N Hirao
Physics and Chemistry of Minerals, 40, 195-201 (2013) 査読有 (doi: 10.1007/s00269-012-0558-0)

② Sound velocity measurements of CaSiO₃ perovskite to 133GPa and implications for lowermost mantle seismic anomalies
Y Kudo, K Hirose, M Murakami, Y Asahara, H Ozawa, Y Ohishi, N Hirao

Earth and Planetary Science Letters 349, 1-7 (2012) 査読有
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2012.06.040>)

③ A perovskitic lower mantle inferred from high-pressure, high-temperature sound velocity data

M. Murakami, Y. Ohishi, N. Hirao, K. Hirose
Nature 485 (7396), 90-94 (2012) 査読有
(doi:10.1038/nature11004)

④ Acceptance of Mineralogical Society of America Award for 2011

M. Murakami
American Mineralogist, 97, 1009 (2012) 査読有
(<http://dx.doi.org/10.2138/am.2012.587>)

⑤ Evidence of denser MgSiO₃ glass above 133 GPa and implications for remnants of ultradense silicate melt from a deep magma ocean

M. Murakami & J. D. Bass
Proceedings of National Academy of Science, USA 108, 17286 (2011) 査読有
(doi: 10.1073/pnas.1109748108)

⑥ Thermoelastic properties of ice VII and its high-pressure polymorphs: Implications for dynamics of cold slab subduction in the lower mantle

Y. Asahara, K. Hirose, Y. Ohishi, N. Hirao, M. Murakami
Earth and Planetary Science Letters, 299, 474-482 (2010) 査読有
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2010.09.037>)

⑦ In-situ sound velocity measurements at high pressure and high temperature using Brillouin spectroscopy with synchrotron radiation and infrared laser heating system: Application to the deep earth science M. Murakami

Journal of the Japanese Society for Synchrotron Radiation Research, 26, 370-381 (2010) 査読有
(<http://www.jssrr.jp/journal/pdf/23/p370.pdf>)

⑧ Tactics and strategy toward a construction of primary pressure scale

M. Murakami
The Review of High Pressure Science and Technology, 20, 252-261 (2010) 査読有
(<http://dx.doi.org/10.4131/jshpreview.2>

0.252)

⑨ Spectroscopic evidence for ultrahigh-pressure polymorphism in SiO₂ glass

M. Murakami & J. D. Bass
Physical Review Letters, 104, 025504 (2010) 査読有
(<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.104.025504>)

⑩ Sound velocity measurement in liquid water up to 25 GPa and 900 K: Implications for densities of water at lower mantle conditions

Y. Asahara, M. Murakami, Y. Ohishi, N. Hirao, K. Hirose
Earth and Planetary Science Letters, 289, 479-485 (2010) 査読有
(<http://dx.doi.org/10.1016/j.epsl.2009.11.037>)

[学会発表] (計 9 件)

① Mineralogical model of the lower mantle: constraints from elasticity

M. Murakami
Neutrino Geoscience 2013, Gifu, 3/22, 2013

② Sound velocities of Earth's deep materials

M. Murakami
IMPMC Seminar, University Pierre et Marie Curie, Paris (France) 11/19, 2012

③ Chemical composition of the lower mantle: Constraints from elasticity

M. Murakami
Structure and Dynamics of the Earth's Deep Mantle, College de France, Paris (France) 11/13, 2012

④ Sound velocities of Earth's Deep Materials

M. Murakami
Dynamics and Evolution of the Earth's Interior: special emphasis on the role of fluids, Tottori, 3/20, 2012

⑤ MSA Award Lecture: Mineralogy and Chemistry of the Earth's Lower Mantle

M. Murakami
2011 Geological Society of America Annual Meeting, Minneapolis (USA), 10/12, 2011

⑥ Perovskitic lower mantle inferred from high-pressure sound velocity data

M. Murakami
AOGS 2011, Taipei (Taiwan), 8/9, 2011

⑦ Sound velocities of Earth's Deep Materials

M. Murakami
Western Pacific Geophysical Meeting, Taipei (Taiwan), 6/23, 2010

⑧ Spectroscopic evidence for ultrahigh pressure polymorphism in SiO₂ glass

M. Murakami
Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, 5/26, 2010

⑨ Sound velocities of Earth's deep materials

M. Murakami
Japan Geoscience Union Meeting, Chiba, 5/25, 2010

〔図書〕(計1件)

ブルーバックス「放射光が解き明かす驚異のナノ世界」(編集:日本放射光学会)講談社、2011年(共著)村上元彦 他 203-208ページ

〔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

村上 元彦 (MURAKAMI MOTOHIKO)

東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 50401542

(2) 研究分担者
()

研究者番号:

(3) 連携研究者
()

研究者番号: