

平成21年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究 (A)
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18684029
 研究課題名 (和文) 高温高压下における下部マントル鉱物の物性研究と最下部マントルのダイナミクス解明

研究課題名 (英文) Investigation on the physical properties of lower mantle minerals under high-pressure and -temperature condition, and elucidation of the dynamics at lowermost mantle

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：

高温高压のその場での高压相合成した多結晶体からの弾性波速度を下部マントル最下部条件までの圧力において測定することに世界で初めて成功した。シリケートサンプルの測定についても予備的実験をいくつか繰り返し、最適な干渉計の条件設定とレーザー出力との関係を綿密に調査し、加熱中のブリルアン散乱シグナルの測定を可能にした。またこの技術開発をさらに発展させ大型放射光施設 SPring-8 において高温高压条件下での音速その場測定システムの導入を行い、レーザー加熱光学系の構築および温度測定のためのシステムの開発は予定通りの時間スケールで導入することができた。下部マントルにおける高温高压での測定を行うことに成功した。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	13,200,000	3,960,000	17,160,000
2007年度	7,200,000	2,160,000	9,360,000
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
年度			
年度			
総計	23,100,000	6,930,000	30,030,000

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：下部マントル、高压地球科学、弾性波速度測定

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。これまでの数少ない高圧力下におけるマントル鉱物の弾性波速度に関する研究は主にマルチアンビル高圧発生装置を用いた超音波測定により推進されているが、発生圧力の限界により下部マントルにおける条件における弾性波測定は少なくとも現時点では不可能である。またブリュアン散乱を地球科学分野に適用し、現在まで活発に研究を行っているグループは世界に二グループあるが、下部マントルに及ぶ高圧力領域での測定はこれまで二例報告されているにすぎず、どちらも室温条件のみの結果である。以上のように、これまでの弾性波測定には世界的に見ても高温高圧の実験技術が圧倒的に不足していた、ということは明らかである。

2. 研究の目的

本研究課題では、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。具体的には大きく 2 点、一つは下部マントルを構成すると考えられているマグネシウムペロブスカイト、マグネシオウスタイト、カルシウムペロブスカイトそれぞれの地球深部条件における弾性波速度を決定することにより、地震学的な地球内部標準モデル(PREM)を最もよく説明する下部マントルの全岩化学組成及び構成鉱物の量比の決定を行う。もう一点はポストペロブスカイト相転移における弾性波速度及び弾性的性質の変化の測定により、地球最下部マントルで観察される地震学的観測（D”地震波不連続面および D”層内部における地震波(VS)の偏向異方性(VSH>VSV)など）の相転移による影響を検証することである。下部マントルの全岩化学組成と構成鉱物の量比の推定により、上部マントルとの化学的な均質・不均質性を明らかにすることが可能であり、これは未だに地球科学の最も大きな問題のひとつである、上部/下部マントルの対流様式がいかなるものかについて直接的な制約を与え

るだろう。またごく最近我々が報告した、ポストペロブスカイト相の発見以来、本鉱物の弾性的異方性や相転移による弾性波速度の変化に関して様々な提案がなされているが、いずれも定性的な議論に留まっている。本研究によってもたらされる弾性波の実測値により、ポストペロブスカイト相が指摘されたように地球最下部マントルの地震学的観測を定量的に説明可能かどうか検証できるだろう。

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目指す。

4. 研究成果

レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いたブリュアン散乱測定技術の開発を行った。その結果、従来まで行われていた単結晶測定に替わり高温高圧のその場での高圧相合成した多結晶からの弾性波速度を下部マントル最下部条件までの圧力において測定することに世界で初めて成功した。シリケートサンプルの測定についても予備的実験をいくつか繰り返し、最適な干渉計の条件設定とレーザー出力との関係を綿密に調査し、加熱中のブリュアン散乱シグナルの測定にむけて多く改善を試み、試料や加熱プロセスの見直し等の調整でいくつかの試料については解決することができた。またこの技術開発をさらに発展させ大型放射光施設 SPring-8 において高温高圧条件下での音速その場測定システムの導入を行い、レーザー加熱光学系の構築および温度測定のためのシステムの開発は予定通りの時間スケールで導入することができた。下部マントルにおける高温高圧力での測定を行うことに成功した。

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 7 件）

1. M. Murakami, Y. Asahara, Y. Ohishi, N. Hirao, K. Hirose, Development of in-situ Brillouin spectroscopy at high pressure and temperature with synchrotron radiation and infrared laser heating system: Application to the Earth's deep interior. *Physics of the Earth and Planetary*

Interiors, 174. 282-291 (2009) 査読有り

2. M. Murakami, Y. Ohishi, N. Hirao, K. Hirose
Elasticity of MgO to 130 GPa: Implications for
lower mantle mineralogy. Earth and Planetary
Science Letters, 277, 123-129 (2009) 査読有
り

3. M. Murakami, S. V. Sinogeikin, K. Litasov, E.
Ohtani, J. D. Bass Single-crystal elasticity of
iron-bearing majorite to 26 GPa: Implications for
the seismic velocity structure of the mantle
transition zone. Earth and Planetary Science
Letters, 274, 339-345 (2008) 査読有り

4. M. Murakami. Sound velocities of MgSiO₃
perovskite and post-perovskite phase. The
Review of High Pressure Science and Technology,
18 (1), 21-30, (2008) 査読有り

5. M. Murakami. Development of in situ
Brillouin spectroscopy at high pressure and
temperature using synchrotron radiation and
infrared laser heating system: application to the
earth's deep interior. SPring-8 Research Frontiers
1, 10-11, (2007) 査読無し

6. M. Murakami, S. V. Sinogeikin, J. D. Bass, N.
Sata, Y. Ohishi, K. Hirose. Sound velocity of
MgSiO₃ post-perovskite phase: A constraint on
the D" discontinuity. Earth and Planetary Science
Letters, 259 (1-2), 18-23, (2007) 査読有り

7. M. Murakami, S. V. Sinogeikin, H. Hellwig, J.
D. Bass and J. Li. Sound velocity of MgSiO₃
perovskite to Mbar pressure. Earth and Planetary
Science Letters, 256 (1-2), 47-54, (2007) 査読
有り

[学会発表] (計 8 件)

1. M. Murakami, Sound Velocities of Lower
Mantle Minerals: Implications for lower mantle
mineralogy. Stagnant Slab Project International
Symposium on "DEEP SLAB and MANTLE
DYNAMICS", 25-27, Feb. 2009, Kyoto (Japan)

2. M. Murakami, High Pressure Mineralogy to
Investigate the Deep Earth (invited)
Japanese-French Frontiers of Science
Symposium, 24-26, Jan. 2009, Kanagawa (Japan)

3. M. Murakami, Y. Ohishi, N. Hirao and K.
Hirose Elasticity of MgO to 130 GPa:
Implications for lower mantle mineralogy.
American Geophysical Union, Fall Meeting 2008,
San Francisco, USA, 15-19, December, 2008

4. M. Murakami, Sound velocities of MgSiO₃
perovskite and post-perovskite: A constraint on
the D" discontinuity (invited), 24th European
Crystallographic Meeting, 22-27, Aug. 2007,
Marrakech (Morocco)

5. M. Murakami, S. Sinogeikin, H. Holger, J.
Bass, N. Sata, Y. Ohishi, K. Hirose Sound
velocities of MgSiO₃ perovskite and
post-perovskite. 7th High Pressure Mineral
Physics Seminar, 9-12, May 2007, Matsushima
(Japan)

6. M. Murakami, S. Sinogeikin, J. Bass, N. Sata,
Y. Ohishi, K. Hirose Sound Velocity of MgSiO₃
Post-Perovskite Phase: Constraints on the D"
discontinuity (invited). American Geophysical
Union, Fall Meeting, 11-15, Dec. 2006, San
Francisco (USA)

7. M. Murakami, Discovery of Post-Perovskite
Phase in Silicates and the Mineralogy of the
Lowermost Mantle (invited, key-note speaker),
Annual Meeting of the German Mineralogical
Society, 25th-27th of September, 2006, Hannover
(Germany)

8. M. Murakami, Mineralogy in the Earth' s
lowermost mantle (invited), Workshop on High
Pressure and Synchrotron Radiation at ESRF,
February 8-10, 2006, Grenoble (France)

[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 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

<http://db.tohoku.ac.jp/whois/detail/be3c3fa85005f925339e446de0cf4d23.html>

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：