

科学研究費補助金（学術創成研究費）公表用資料  
〔事後評価用〕

平成15年度採択分

平成20年 3月31日現在

研究課題名（和文） 放射光と超高压技術による地球深部物質の探査  
研究課題名（英文） Searching mineralogy of the Earth's deep interior  
using a combination of synchrotron radiation  
and high-pressure technology

研究代表者

入舩 徹男（IRIFUNE TETSUO）

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・教授



研究の概要：放射光と超高压実験を利用した技術開発により、従来の限界を越える超高压発生や高温高压下での弾性波測定法を確立した。これによりマントル遷移層の化学組成の解明、下部マントル領域での新しい高压相の発見など、地球深部物質に関する様々な新しい知見が得られた。

研究分野： 数物系科学

科研費の分科・細目： 地球惑星科学・固体地球惑星物理学

キーワード： 固体地球物理学、地殻・マントル物質、地球・惑星内部構造

#### 1. 研究開始当初の背景

焼結ダイヤモンドアンビルを用いたマルチアンビル装置（MA）による高温高压実験が進展し、放射光X線を利用したその場観察により圧力の評価や相転移実験が開始されていたが、到達可能な圧力は40GPa程度にとどまっていた。また、米国で超音波と放射光を用いた弾性波速度精密測定がおこなわれていたが、その圧力温度は10GPa, 1000K程度までに限られており、我が国ではこのような研究自体ほとんど皆無であった。

#### 2. 研究の目的

マントル遷移層の化学組成や下部マントル上部～中部における鉱物相転移を、マルチアンビル装置と放射光実験の組み合わせにより実験的に明らかにする。そのために必要な超高压発生技術および超音波測定技術の開発をおこなう。また、代表者らが開発した超高硬度ナノダイヤモンド（ヒメダイヤ）の超高压実験への利用可能性を明らかにする。

#### 3. 研究の方法

SPring-8の強力X線を用いたX線その場観察技術と、焼結ダイヤモンドアンビル、超音波測定技術、ヒメダイヤを利用したアンビルを組み合わせ、より高い圧力温度のもとでの相変化、密度変化、弾性波速度変化をマントルおよび関連鉱物に対して精密に決定する。得られたデータを地震学的なモデルと比較することにより、マントル遷移層～下部

マントル中部領域の物質構成や化学組成を明らかにする。

#### 4. 研究の主な成果

焼結ダイヤモンドアンビル装置利用したMAにおいて、常温下で80GPa領域の圧力発生が可能になった。また高温下でも60GPaの発生が可能になり、下部マントル関連物質の新しい相転移の発見や、高压相の精密な密度変化が決定された。

一方でMAと放射光X線その場観察および超音波測定を組み合わせ、20GPa, 1700K程度までの高压相多結晶体の弾性波速度精密測定技術が開発された。この技術を用いてマントル遷移層の主要高压相であるリングウツダイトやメージャライト、また沈み込むスラブの重要な物質である玄武岩の弾性波速度が決定された。

この結果、マントル遷移層上部～中部がパイロライト的物質でできていることが明らかになった。一方遷移層下部ではこれまでに提案されているパイロライトあるいはピクロジャイト組成は、いずれも地震学的モデルより速度が遅くなり適当でない。これらのモデルをもっともよく説明できる組成はハルツバージャイトであり、この領域には沈み込んだプレート物質の本体が溜まっている可能性がある。また玄武岩物質も、この領域では地震学的モデルに比べて低い速度を示すことが明らかになった。

本研究により開発された技術を用いて、

#### [ 4 . 研究の主な成果 ( 続き ) ]

MgO の弾性波速度と X 線その場観察の同時測定をおこない、これを利用した高温高压下絶対圧力スケールの確立を試みた。この結果をこれまでに報告されている Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> のポストスピネル転移と MgSiO<sub>3</sub> ポストペロブスカイト転移に適用することにより、それぞれ 660km 不連続面と D" 層上面に対応する圧力で相転移が起こることになり、これらの相転移がそれぞれの不連続面の形成に重要な役割を果たすことがより確からしくなった。

一方で将来的な超高压実験への本格利用を目指し、ヒメダイヤの MA と DAC への応用が試みられた。MA ではヒメダイヤを第 3 段アンビルとして用いる 6-8-2 加圧方式により、常温で 100GPa を越える圧力発生に成功した。また 1300K 程度の高温下でも 90GPa 程度の高压の保持が可能であるとともに、回収後のヒメダイヤの変形が単結晶ダイヤモンドや従来の多結晶ダイヤモンドに比べて大幅に小さいことがわかった。更にヒメダイヤの DAC への応用が試みられ、予備的な実験で常温では 200GPa を越える圧力の発生が、またレーザー加熱 DAC を用いて 90GPa, 2500K 程度の高温高压 X 線その場観察実験によって相転移の観察がおこなわれた。これらの結果はヒメダイヤが今後の超高压発生において、アンビル素材として重要な役割を果たす可能性を示唆している。

#### 5 . 得られた成果の世界・日本における位置づけとインパクト

超高压発生、弾性波測定ともに技術的には世界のトップをいくものであり、地球深部物質科学の新たな展開において極めて大きなインパクトをもたらすと考えられる。また本研究により提出されたマントル遷移層の化学組成と物質構成は、従来の論争に決着をつけるとともに、660km 不連続面近傍におけるスラブの挙動に関する新たなモデルを提示した。ヒメダイヤの超高压実験への応用も本研究による独創的な成果であり、従来の圧力発生限界を打破する新しい素材としてのポテンシャルが示された。

#### 6 . 主な発表論文

( 研究代表者は太字、研究分担者には下線 )

1. **T. Irifune**, Y. Higo, T. Inoue, Y. Kono, H. Ohfuji and K. Funakoshi, Sound velocities of majorite garnet and the composition of the mantle transition region, *Nature*, 451, 814-817, 2008.
2. Y. Higo, T. Inoue and **T. Irifune**, K. Funakoshi and B. Li, Elastic wave velocities of (Mg<sub>0.91</sub>Fe<sub>0.09</sub>)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> ringwoodite under P-T conditions of the mantle transition region, *Phys. Earth Planet.*

*Inter.*, (in press), 2008.

3. Y. Kono, Y. Higo, H. Ohfuji, **T. Inoue** and **T. Irifune**, Elastic wave velocities of garnetite with a MORB composition up to 14 GPa. *Geophysical Research Letters*, 34, L14308, 2007.
4. H. Sumiya and **T. Irifune**, Hardness and deformation microstructures of nano-polycrystalline diamonds synthesized from various carbons under high pressure and high temperature, *J. Mater. Res.*, 22(8), 2345-2351 2007.
5. K. Idehara, A. Yamada and D. Zhao, Seismological constraints on the ultralow velocity zones in the lowermost mantle from core reflected waves, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 165, 25-46, 2007.
6. Y. Higo, T. Inoue, B. Li, **T. Irifune**, and R. C. Liebermann, The effect of iron on the elastic properties of ringwoodite at high pressure, *Phys. Earth Planet. Inter.* 159, 276-285, 2006.
7. T. Inoue, **T. Irifune**, Y. Higo, T. Sanehira, Y. Sueda, A. Yamada, T. Shinmei, D. Yamazaki, J. Ando, K. Funakoshi and W. Utsumi, The phase boundary between wadsleyite and ringwoodite in Mg<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> determined by in situ X-ray diffraction, *Phys. Chem. Minerals*, 33, 106-114, 2006.
8. T. Sanehira, **T. Irifune**, T. Shinmei, F. Brunet, K. Funakoshi and A. Nozawa, In-situ X-ray diffraction study of an aluminous phase in MORB under lower mantle conditions, *Phys. Chem. Minerals*, 33, 28-34, 2006.
9. D. Yamazaki, T. Yoshino, H. Ohfuji, J. Ando and A. Yoneda, Origin of the seismic anisotropy in the D" layer inferred from shear deformation experiments on post-perovskite phase, *EPSL*, 252, 372-378, 2006.
10. **T. Irifune**, M. Isshiki and S. Sakamoto, Transmission electron microscope observation of the high-pressure form of magnesite retrieved from laser heated diamond anvil cell, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 239, 98-105, 2005.
11. M. Isshiki, **T. Irifune**, K. Hirose, S. Ono, Y. Ohishi, T. Watanuki, E. Nishibori, M. Takata and M. Sakata, Stability of magnesite and its high-pressure form in the lowermost mantle, *Nature*, 427, 60-62, 2004.

ホームページ等

<http://www.ehime-u.ac.jp/~grc/>