

科学研究費補助金（特別推進研究）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成20年度採択分

平成23年5月20日現在

研究課題名（和文） **Fe系物質の超高压下での挙動と最下部  
マントル～内核の物質科学**

研究課題名（英文） Behavior of Fe-bearing materials under  
very high pressure and mineralogy of  
the lowermost mantle and the inner core.

研究代表者

**入松 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：ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）の、大型化・超高压発生装置への本格的  
応用をおこなう。一方で、既存の超高压関連実験技術の発展とともに、第一原理計算も併用し、  
マントル深部～核領域におけるFeの挙動に重点を置いた、物質科学的研究を推進する。

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：ヒメダイヤ、超高压実験、第一原理計算、地球・惑星内部、マントル・核、鉄

1. 研究開始当初の背景

代表者は、独自の技術により世界最硬ヒメ  
ダイヤの合成を2003年に発表し、その後5  
年近くを経て、当初1mm程度であったヒメダ  
イヤ4mm程度までの大型化に成功していた。

一方、単結晶ダイヤモンドを用いたダイヤ  
モンドアンビル装置により、マントル最下部  
において新しい高压相が発見され、第一原理  
計算等により、下部マントル中でのFeスピ  
ン転移の可能性が示唆されていた。また、地  
球中心核を構成するFeの結晶構造に関して、  
実験・数値計算による予測がなされていたが  
一致した見解は得られていなかった。

2. 研究の目的

ヒメダイヤの大型化とともに、その超高压  
発生装置への本格的応用をおこなう。一方で、  
焼結ダイヤモンドを用いたマルチアンビル  
装置(MA)の圧力限界の拡大、超音波技術に  
よる下部マントル領域下での弾性波速度精  
密測定、地球全領域をカバーするダイヤモ  
ンドアンビル装置(DAC)技術の開発、を重点  
的技術課題とする。これらの技術の開発とと  
もに、第一原理計算の専門家との連携のもと、  
マントル深部～核領域におけるFeの挙動に  
重点を置いた、物質科学的研究をすすめる。

3. 研究の方法

- (1) 大型MAを用い、ヒメダイヤの大型化・良  
質化をおこなうとともに、大量合成・ア  
ンビルへの加工をおこなう。
- (2) 得られたヒメダイヤアンビルを、様々な

超高压発生装置に応用し、温度圧力発生  
領域の拡大等をめざす。

- (3) ヒメダイヤを用いた超高压装置に加え、  
従来の装置と技術を発展させ、全マン  
トル領域の精密実験、内核領域の実験を可  
能にする。
- (4) これらの技術とともに、第一原理計算も  
併用し、下部マントル領域におけるFeス  
ピン転移の実態、ポストスピネル転移へ  
のFe等の影響、核中のFe系物質の結晶  
構造と密度・弾性等の解明をおこなう。

4. これまでの成果

- (1) ヒメダイヤの大型化に関しては、既に当  
初の目標であった直径1cm・長さ5mmを  
上回るサイズの合成に成功した。また、  
得られたヒメダイヤ加工技術の開発、微  
細組織の制御、様々な物性の測定、ア  
ンビルへの応用を目指したヒメダイヤの  
大量合成を行っている。
- (2) ヒメダイヤのDACと6-8-2型MAへの応用  
を中心に行い、それぞれ最大250GPa、  
115GPa程度の圧力発生を記録した。また、  
高温実験もそれぞれ5000K、1500K程度ま  
で可能にした。
- (3) 焼結ダイヤモンドを用いたMA、単結晶ダ  
イヤモンドを用いたDAC、またMAと放射  
光を用いた弾性波測定において、いずれ  
も従来の圧力・温度限界を越える技術開  
発に成功した。

[4. これまでの成果 (続き)]

- (4) 上記の技術、および第一原理計算分野の分担者との共同研究に基づき、以下のような特に重要な成果をはじめ、様々な地球科学的知見が得られている。
- ① マントルモデル物質中の、相転移や密度変化を下部マントル中部領域まで明らかにし、主要鉱物中の Fe スピン転移の元素分配の影響を定量的に解明した。
  - ② ポストペロブスカイト転移への、Al や Fe の影響を解明するとともに、マントル-核境界の温度に重要な制約を与えた。
  - ③ 内核条件における Fe の結晶構造に関し、第一原理計算と DAC 実験を組み合わせることにより、最終的な決着となる制約を与えた。

5. 今後の計画

- (1) ヒメダイヤの応用に関しては、特に MA への応用に重点を置き、全マントル条件に対応する圧力下での相転移実験を主要な目標とする。一方で、引き続き DAC や様々な超高压装置への応用もおこなう。
- (2) 開発した実験技術の地球科学的応用に重点を移し、Fe 系を中心とした下部マントル・核領域での相転移・密度変化・弾性波速度などの解明をおこなう。
- (3) 第一原理計算分野との共同研究は、高压相の結晶構造予測の面で、重要な成果があがっている。今後は、弾性や密度など物性面での研究も推進する。
- (4) 本研究による実験技術や、数値分野との共同体制をもとに、地球物質の動的挙動、新規物質合成、系外惑星物質の探査など、新たな研究課題に挑戦する。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)  
(研究代表者は二重線、研究分担者は一重下線、連携研究者は点線)

- (1) T. Irifune, T. Shinmei, C. A. McCammon, N. Miyajima, D. C. Rubie and D. J. Frost, Iron partitioning and density changes of pyrolite in Earth's lower mantle, *Science*, 327, 193-195, 2010.
- (2) T. Tsuchiya and J. Tsuchiya, Prediction of a hexagonal SiO<sub>2</sub> phase affecting stabilities of MgSiO<sub>3</sub> and CaSiO<sub>3</sub> at multimegabar pressures, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 108, 1252-1255, 2011.
- (3) Y. Tange, Y. Nishihara and T. Tsuchiya,

Unified analyses for P-V-T equation of state of MgO: A solution for pressure-scale problems in high P-T experiments, *J. Geophys. Res.*, 114, B03208, 2009.

- (4) H. Ohfuji, T. Okuchi, S. Odake, H. Kagi, H. Sumiya and T. Irifune, Micro-/nano-structural investigation of laser-cut surfaces of single- and polycrystalline diamonds, *Diamond Relat. Mater.*, 19, 1040-1051, 2010.
- (5) Y. Kuwayama, T. Sawai, K. Hirose, N. Sata and Y. Ohishi, Phase relations of iron-silicon alloys at high pressure and high temperature, *Phys. Chem. Min.*, 36, 511-518, 2009.
- (6) T. Irifune and H. Sumiya, "Nano-polycrystalline diamond without binder and their variety of applications" in *Comprehensive Hard Materials*, Elsevier, (in press).
- (7) 入船徹男 (2011), 第 2 章「地球内部を探る」22~39, 第 3 章「地球内部の物質と構造」, 40~59, 現代地球科学, NHK 出版.
- (8) T. Irifune, Nano-polycrystalline diamond: a potential third-generation ultrahard material for LVP experiments (Invited Talk), Workshop for Extreme Conditions Research in a Large Volume Press at PETRA II, 15 October 2010, Lunenburg, Germany.
- (9) T. Irifune, Nature and application of nano-polycrystalline diamond synthesized by direct conversion in large-volume multianvil apparatus (Keynote Lecture), NDNC2010, 27 May 2010, Suzhou, China.
- (10) T. Irifune, Development of multianvil technology and its application to deep Earth mineralogy and novel materials synthesis (Special Lecture), AIRAPT-22 & HPCJ-50, 27 July 2009, Tokyo, Japan.

(11) 受賞

- ・日本高圧力学会賞・AGU フェロー (入船)
- ・日本学術振興会賞・文部科学大臣表彰若手科学者賞 (土屋)
- ・国際高圧力学会 Jamieson 賞 (桑山)
- ・日本高圧力学会奨励賞 (丹下)

ホームページ等

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