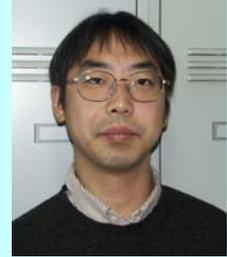


超高圧地球科学：最下部マントル・中心核の物質学

Ultrahigh-Pressure Earth Science:
Study of Lowermost mantle and core materials

廣瀬 敬 (HIROSE KEI)

東京工業大学・大学院大学院研究科・教授



研究の概要

地球の内部は深くなるにつれ、圧力と温度が高くなっていく高圧高温の世界である。地球の中心は364万気圧・6000ケルビンという超高圧超高温状態にあるとされる。本研究ではそのような地球中心の環境を、世界で初めて実験室で作り出すための技術開発を進める。またそのような極限条件下における、地球深部、特に最下部マントルや中心核の物質のふるまいや性質をあきらかにする。

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：下部マントル、コア、高圧

1. 研究開始当初の背景

地球の下部マントルや中心核に相当する超高圧高温状態を実験室で実現することは容易ではない。世界を見ても、地球の中心はおろか、中心核に相当する圧力温度すら実現できていなかった。ゆえに、地球の下部マントル深部や中心核（コア）に関する物質学的な理解は未だ乏しいという状態であった。

2. 研究の目的

世界に先駆けて、地球中心にあたる364万気圧・6000ケルビンという超高圧超高温を実験室で実現する。またそのような世界をリードする高圧高温発生技術を用いて、地球の下部マントルと中心核の、化学組成、構造、さまざまな物性をあきらかにする。

3. 研究の方法

超高圧の発生にはダイヤモンドセル装置(DAC)を用いる。これは最も硬い物質であるダイヤモンドを用いて試料を加圧する装置である。高圧下にある試料に近赤外線のレーザーを照射し、試料を高圧高温状態にする。状態図の決定には、大型放射光施設スプリングエイトのX線を用いて、高圧高温下で相同

定を行う。電気伝導度測定については、DAC中に電極を配置して抵抗を測定し、試料の形から電気伝導度を計算する。常圧へ減圧し回収した試料の化学分析は2段階で行う。すなわち、まずは電解放出形の電子線マイクロアナライザで試料全体の様子を確認する。さらに的確な場所を薄膜化して、透過型電子顕微鏡を用いて数十から百ナノ程度の微小領域の化学組成を決定する。内熱式DACにあつては、DAC中で高圧下にある金属の試料そのものに電気を流し、発熱させて高温にする。レーザーにくらべ、試料温度のふらつきがほとんどないため、より温度を正確に制御した実験データが得られる。

4. これまでの成果

(1) マントルへ沈み込んだ玄武岩質海洋地殻の状態図をあきらかにし、マントル最下部に集積しているという最初の証拠を提示した。

(2) ポストペロフスカイト相転移境界を正確に決定し、最下部マントルの温度構造、さらにはコアからの熱流量を見積もった。

(3) 下部マントル鉱物の電気伝導度を測定した結果、鉄のスピン状態の変化に伴い下部マ

ントル中位で大きく減少すること、逆にポストペロフスカイト相転移によって数桁上昇することがわかった。最下部マントルがきわめて高い伝導度を持つことにより、マントルの最下部と液体の外核との間に強い電磁氣的結合が生まれ、その結果マントルの自転速度にも影響を与えていることが示された。

(4) 最下部マントル鉱物と熔融鉄との間の平衡実験を行い、核・マントル物質の化学反応によって、核にはシリコンと酸素が大量に溶け込み得ることをあきらかにした。その結果、外核最上部には外核本体と組成の異なる低密度レイヤーが存在することを示唆した。

(5) 酸化鉄、鉄-シリコン合金、鉄-硫黄化合物、鉄-炭素化合物の4つにつき、圧力-密度曲線を 270GPa に至る超高压まで決定した。得られた圧縮率を、観測される外核の圧縮率と比較して、酸素や炭素がコア中の重要な軽元素ではないこと、一方シリコンもしくは硫黄こそが有力候補であることを示した。

(6) 超高压超高温の発生に向け、技術開発を極めて精力的に行った。その結果、ついに 364GPa・6000K という、まさに地球中心に相当する条件の発生に成功した。これは世界初の快挙である。

5. 今後の計画

(1) 鉄-シリコン系、および鉄-硫黄系の熔融実験を行い、共存する固体と液体の化学組成を決定する。その結果を内核・外核境界の密度ジャンプに関する観測データと比較し、核に含まれる軽元素を特定する。

(2) 少量のこれらシリコンもしくは硫黄を含む鉄化合物の X 線回折実験を 364GPa・6000K まで行い、内核を構成する金属の構造をあきらかにする。

(3) 天然組成のペロフスカイト相・ポストペロフスカイト相中の鉄の 2 価・3 価比を決定する。さらに、価数を考慮に入れて、フェリペリクレス相との鉄分配をあきらかにする。

(4) 下部マントル鉱物の熱拡散率を高圧下で測定し、核からマントルへの熱流量を見積もる。

6. これまでの発表論文等

【発表論文】

1. Ohta, K., Hirose, K., Shimizu, K., Sata, N., Ohishi, Y., Electrical conductivities of pyrolitic mantle and MORB materials up to the lowermost mantle conditions, *Earth and Planetary Science Letters*, 289, 497-502.
2. Tateno, S., Hirose, K., Sata, N., Ohishi, Y., Determination of post-perovskite phase transition boundary in MgSiO₃ up to 4400 K and implications for thermal structure at the base of the mantle, *Earth and Planetary Science Letters*, 277, 130-136, 2009.
3. Ohta, K., Hirose, K., Lay, T., Sata, N., Ohishi, Y., Phase transitions in pyrolite and MORB at lowermost mantle conditions: Implications for a MORB-rich pile above the core-mantle boundary, *Earth and Planetary Science Letters*, 267, 107-117, 2008.
4. Ohta, K., Onoda, S., Hirose, K., Sinmyo, R., Shimizu, K., Sata, N., Ohishi, Y., Yasuhara, A., The electrical conductivity of post-perovskite in Earth's D'' layer, *Science*, 320, 89-91, 2008.
5. Kuwayama, Y., Hirose, K., Sata, N., Ohishi, Y., Phase relations of iron and iron-nickel alloys up to 300 GPa; Implications for the composition and the structure of the Earth's inner core, *Earth and Planetary Science Letters*, 273, 379-385, 2008.

【受賞】

- 井上学位賞 (2006 年度)
日本 IBM 科学賞 (2007 年度)
トムソンサイエンティフィック・リサーチフロント賞 (2007 年度)
日本学術振興会賞 (2008 年度)
米国地球物理学会フェロー (2009 年度)

ホームページ等

<http://www.geo.titech.ac.jp/lab/hirose/research.html>