

科学研究費助成事業（特別推進研究）公表用資料  
〔研究進捗評価用〕

平成24年度採択分

平成27年5月27日現在

研究課題名（和文） **地球中心核の物質と進化の解明**

研究課題名（英文） **Materials property and evolution of Earth's core**

課題番号：24000005

研究代表者

廣瀬 敬 (HIROSE KEI)

東京工業大学・地球生命研究所・教授



研究の概要：主にレーザー加熱式ダイヤモンドセルを使った超高压高温実験を行い、地球コアを構成する鉄合金のさまざまな物性測定から、コアの化学組成の決定（軽元素の特定）とコアのダイナミクスと進化の理解を目指す。

研究分野：数物系科学

キーワード：内部変動・物性、元素分別濃集過程、鉱物物理

#### 1. 研究開始当初の背景

(1) 地球コア物質の理解は、マントル物質のそれに比べ、大きく遅れている。その理由として、コアの超高压・超高温状態を実験室で実現することがこれまで不可能だったこと、コアの大部分が液体であり実験が比較的困難であることが挙げられる。

(2) 近年の高压高温発生技術ならびに放射光利用技術の格段の進歩により、超高压高温下での物性測定が可能になってきた。

#### 2. 研究の目的

研究代表者らがこれまで培って来た、超高压・超高温発生技術と高压下の物性測定技術を用いて、液体／固体の鉄と鉄化合物に関する実験を行い、音速、密度、結晶構造、元素分配、融解温度、熱伝導率などを測定する。これらの測定結果を地震学的な観測結果と比較することにより、コアの化学組成を強く制約する。また、コアのダイナミクス、熱的・化学的進化、マントルとの相互作用などを明らかにする。

#### 3. 研究の方法

本研究では、レーザー加熱式のダイヤモンドアンビルセル（図1）を用いた高压実験が主となる。同装置を用いた静的圧縮実験によって、現在すでに地球中心の圧力温度（365万気圧、~6000ケルビン）を上回る極限環境での物性測定が可能である。測定は主に大型放射光施設 SPring-8 にて行う。ビームライン BL35XU と BL43LXU ではX線非弾性散乱法により、液体鉄合金の縦波速度を高压高温下で決定する。また BL10XU ではX線回折法を用いて、結晶構造や密度を測定する。さらに、



図1. ダイヤモンドセル超高压発生装置

X線をナノビーム化することによって、状態図、融解温度、状態方程式などを高精度で決定する。状態図の作成には、電子顕微鏡による回収試料の化学組成分析も必要である。

#### 4. これまでの成果

(1) 放射光X線を用いた高解像度トモグラフィ画像を基に、微量な融解液の確認に成功した。その結果コア-マントル境界におけるマントルのソリダス温度が3600 Kと、従来の見積りより500 Kも低い結果を得た。マントル最下部は全球的には融解しておらず、またコアの温度は水平方向にきわめて均質と考えられることから、コア最上部の温度は3600 K以下と、伝統的な見積りよりも400 K

以上低いことがわかった。さらに、そのような低温にも関わらず外核が液体であるためには、地球化学的に要請されるシリコンに加え、大量の水素が含まれている可能性が高いことがわかった (図2) (Nomura et al. 2014 Science)。

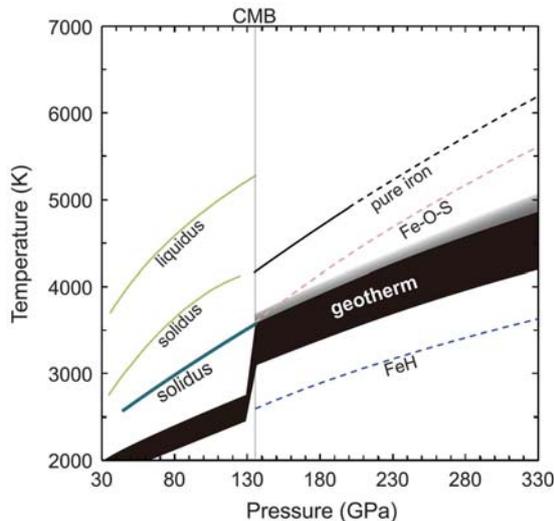


図2. 実験で求められたマンツルのソリダス温度と地球深部の温度分布

(2) 内核誕生以前における地球の磁場形成には液体コア中の熱対流が必要であることを考えると、コアの熱伝導率はコアが失ってきた熱量の下限値を与える。コアの電気抵抗率 (金属の熱伝導率は電気抵抗率から導出される) は従来 200–500  $\mu\Omega\text{cm}$  とされていたが、コアの環境下で直接測定されたことはなかった。本研究では、まず Fe および Fe-Si 合金の電気伝導度を、静的圧縮実験としては世界で初めて、室温で 100 万気圧まで測定することに成功した (Gomi et al. 2013 PEPI)。さらに、金属物理学ではよく知られた「抵抗率の飽和」現象を、コアの電気伝導度のモデリングに初めて取り入れ、その結果コアの電気抵抗率はコア最上部で 90  $\mu\Omega\text{cm}$  と従来の半分以上と推定した。この結果は、コア熱伝導率は従来の推定値の少なくとも 2 倍以上、コアの冷却速度も 2 倍以上であることを意味している。すなわち、内核の誕生は 10 億年前より新しく、また現在のコア-マンツル境界の熱流量も 10 テラワット以上であることが明らかになった (図3)。

## 5. 今後の計画

(1) 本研究でわれわれは「地球コアは Fe-Si-H 系の化学組成を持つ」ことを提唱している (Nomura et al., 2014)。そこで今後は Fe-Si-H 系の合金の物性測定に力を注ぐ。

(2) X線非弾性散乱測定に基づく、液体鉄合金の縦波速度決定に 70 万気圧の高圧下まで成功している。今後はより高圧の測定を目指す。

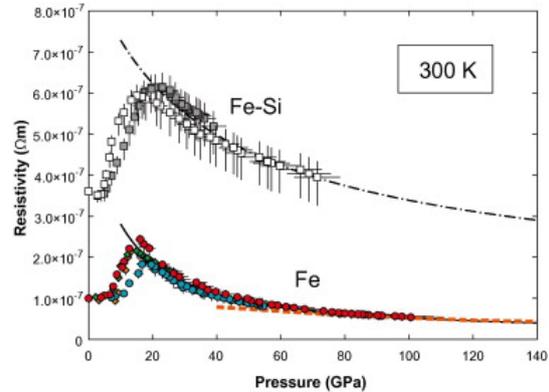


図3. 高圧下における鉄と鉄-シリコン合金の電気抵抗率測定

## 6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む)

1. Tateno, S., Kuwayama, Y., Hirose, K., Ohishi, Y., The structure of Fe-Si alloy in the Earth's inner core, *Earth and Planetary Science Letters*, 418, 11-19, 2015.
2. Nomura, R., Hirose, K., Uesugi, K., Ohishi, Y., Tsuchiyama, A., Miyake, A., Low core-mantle boundary temperature inferred from the solidus of pyrolite, *Science*, 343, 522-525, 2014.
3. Imada, S., Ohta, K., Yagi, T., Hirose, K., Yoshida, H., Nagahara, H., Measurements of lattice thermal conductivity of MgO measured to core-mantle boundary pressures, *Geophysical Research Letters*, 41, 4542-4547, 2014.
4. Gomi, H., Ohta, K., Hirose, K., Labrosse, S., Hernlund, J., The high conductivity of iron and thermal evolution of Earth's core, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 224, 88-103, 2013.
5. Ozawa, H., Hirose, K., Suzuki, T., Ohishi, Y., Hirao, N., Decomposition of Fe<sub>3</sub>S above 250 GPa, *Geophysical Research Letters*, 40, 1-5, 2013.

ホームページ等

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