

川井型装置による核マントル境界の温度圧力発生とマントル最深部実験地球科学の展開

Experimental study on physical properties of minerals at the lowermost mantle conditions by means of Kawai-type apparatus

米田 明 (YONEDA AKIRA)

岡山大学・地球物質科学研究センター・准教授



研究の概要

地球の核マントル境界(CMB)の温度圧力は136GPa、~4000Kである。焼結ダイヤモンドアンビルを用いた川井型装置でCMBの温度・圧力条件の実現を目指し、マントル最深部実験地球科学を展開している。研究の進展に伴い、当初予定にはなかった、X線非弾性散乱法による微小結晶弾性定数測定やDACにおけるGHz音速法の開発も行っている。

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：川井型装置、下部マントル、コア、D”層

1. 研究開始当初の背景

ダイヤモンドアンビルセル(DAC)と川井型マルチアンビル装置(KMA)は実験地球深部科学における二大手法であるが、その特徴は相補的である。発生圧力はDACが勝るが、試料容積ではKMAはDACのそれより4桁以上大きい。試料容積が大きいので、KMAでは加熱が安定しており物性測定用電極も簡単に挿入できる。また、焼結ダイヤモンド(SD)をアンビルに使用することでKMAでもDACに匹敵する圧力発生が可能になり、KMAによる下部マントル最下部の実験研究が展開できるようになった。

2. 研究の目的

本研究計画の第一段階目標はSD-KMAによるCMBの温度圧力条件達成である。それが実現すれば、MgSiO₃組成のペロブスカイト-ポストペロブスカイトの相境界の精密測定や両相間での元素分配実験等を行う。また、ポストペロブスカイトと熔融鉄の反応実験も実施する。いずれも地球の大局的な構造と進化過程を拘束するための重要研究目標である。高温発生も重要課題であり半導体ダイヤモンドヒーターの開発・実用化も目標とする。

3. 研究の方法

本研究計画は核マントル境界(CMB)の条件である136GPa・4000K発生とその後の物性測定展開の二段構造になっている。設備面においてのニーズは共通しており、要するに、セルの精密化・小型化に役立つ観察装置やスパッタリング装置の整備を行った。焼結ダイヤモンドアンビルは1個20万円と高価であるが、相当量の確保は本研究計画遂行に不可欠である。さらに、有限要素法シミュレーションを効果的に行うための高性能計算機を導入した。

4. これまでの成果

焼結ダイヤモンドアンビルを装着した川井型装置を用いて“ε鉄の状態方程式”を80GPaまでの領域で決定することに成功した。近年、地震学的研究が進んでいる内核のダイナミクスに対して重要な制約を与えるものである。

ペロブスカイト及びポストペロブスカイトのアナログ物質であるPbnm-CaIrO₃とCmcm-CaIrO₃の結晶弾性をX線非弾性散乱法を用いて決定した。その結果から地震学で検出されるD”層の異方性の起源を推定した。

熱物性測定セルの小型化が成功し、圧力領域を8GPaから12GPaに拡張しパイロキシン

の熱伝導率を系統的に測定した。本成果をもとに大陸下部の温度モデルを構築中である。

申請書作成段階から半導体ダイヤモンドヒーターの開発を柱の一つとしてきたが、期間中に成果を達成できた。一つは、ボロンを含んだグラファイト焼成体の開発である。さらに、最初から半導体ダイヤモンドヒーターとして使用可能な焼結体も開発した。この過程において、電子回路デバイスとしての半導体ダイヤモンドの可能性も認識することになった。今後の重要テーマとして遂行していく。

5. 今後の計画

残り2年間の最大のテーマはSD-KMAの発生圧力の向上であることは言うまでもないが、その他に、“下部マントル条件での拡散実験と溶融実験”、“DACによるGHz音速法の開発”、“含鉄ペロブスカイト及びhcp相鉄の結晶弾性測定”“メジョライト、 β ・ γ スピネル、ペロブスカイトの熱物性測定”などのテーマを達成できると見込んでいる。

6. これまでの発表論文等 (受賞等も含む) 学会発表

Yoneda, A. *et al.*, Single crystal elasticity of *Pbnm*- and *Cmcm* CaIrO₃: Implication for the D” discontinuity in the lower mantle, TANDEM2013, March 2013, Matsuyama.

Osako, T., C. Wang, A. Yoneda, Z. Jin, Thermal diffusivity and thermal conductivity of pyroxenes under pressure, TANDEM2013, March 2013, Matsuyama.

Yamazaki, D. *et al.*, Relationship of crystallographic orientation between perovskite and post-perovskite, TANDEM2013, March 2013, Matsuyama.

伊藤英司、山崎大輔、芳野極、他5名、二価遷移金属酸化物 (MnO, CoO, NiO) の高圧力下における構造と電気抵抗変化、第53回高圧討論会 (2012年11月、大阪)

査読誌論文発表

Yamazaki, D., E. Ito, T. Yoshino, A. Yoneda, X. Guo, B. Zhang, W. Sun, A. Shimojuku, N. Tsujino, T. Kunimoto, Y. Higo, K. Funakoshi, *P-V-T* equation of state for ϵ -iron up to 80 GPa and 1900 K using the Kawai-type high pressure apparatus equipped with sintered diamond anvils. *Geophysical Research Letters*, L20308, 2012.

Yoneda, A., T. Cooray, A. Shatskiy, Single-crystal elasticity of stishovite: New experimental data obtained using high-frequency resonant ultrasound spectroscopy and a Gingham Check structure model, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 190-191, 80-86, 2012.

Yoneda, A., M. Yonehara, M. Osako, Anisotropic thermal properties of talc under high temperature and pressure., *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 190-191, 10-14, 2012.

Tomioka, N., Morlok, A., Koike, C., Kohler, M., Grady, M., Laihunite in planetary materials: An FTIR and TEM study of oxidized synthetic and meteoritic Fe-rich olivine, *Jour. Mineral.Petrol.Sci.*, 107, 157-166, 2012.

Yoshino, T., Shimojuku, A., Shan, S., Guo, X., Yamazaki, D., Ito, E., Higo, Y., Funakoshi, K., Effect of temperature, pressure and iron content on the electrical conductivity of olivine and its high-pressure polymorphs, *J. Geophys. Res.*, 117, B08205, 2012.

受賞

伊藤英司、ブリッジマン賞、2011

ホームページ等

http://www.misasa.okayama-u.ac.jp/~hactop/top_j.html