

地球中心核の構成と進化

Structure and Evolution of the Earth's Core

大谷 栄治 (Eiji Ohtani)

東北大学・大学院理学研究科・教授



研究の概要

本研究では、内核を構成する物質と構造、内核と外核の間の元素分配関係と内核の成長にともなう地球核の分化、外核を構成する金属液体の物性、核とマンツルの反応様式を解明する。

研究分野：数物系

科研費の分科・細目：地球惑星科学・岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：内核、外核、核マンツル境界、高温高压、鉄ニッケル合金、軽元素

1. 研究開始当初の背景

地球核は、地球科学におけるフロンティアである。地球核の条件を実現することは、外挿による不確かさを廃して、地球核研究に格段の進歩をもたらす。これまで行われた核に関する研究の多くは、低压における実験を高圧に外挿したものであった。また、地球の核は純粋な金属鉄にくらべて数%程度軽いと考えられ、核には軽元素が含まれている可能性がある。地球核の条件は、135GPa-350GPa におよび 3000K を越える高温である。このような条件で安定な核構成物質の解明は、核の圧力を発生することが困難なためにまだ国際的にもほとんど進んでいない。また外核は金属液体から構成されているが、液体の構造と性質については、固体と異なり研究方法が限られているために、高温高压での研究例がほとんどないほど研究が遅れているのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、ダイヤモンドアンビルを用いて地球核に相当する超高压高温を実現し、そこで安定な鉄軽元素合金の結晶構造と状態方程式を決定し、現在の核の構成を明らかにすることを目的としている。さらに、核がどのようにマンツルから分離し形成されたのか、核とマンツルは平衡にあるのか否かを明らかにすることも目的としている。同時に、液体である外核の実体を解明するために未だ限られた数の実験しかない金属液体の高圧下での物性を、マルチアンビルを用いて明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

ダイヤモンドアンビルを用いて、高温高压 X線その場観察によって、地球核の条件で安定な相を解明するとともに、金属鉄軽元素合金の核の条件での融点を決定する。これによって、核の温度に制約をあたえる。導入したレーザー加熱システムは、高圧下において試料を加熱するのに使用する。

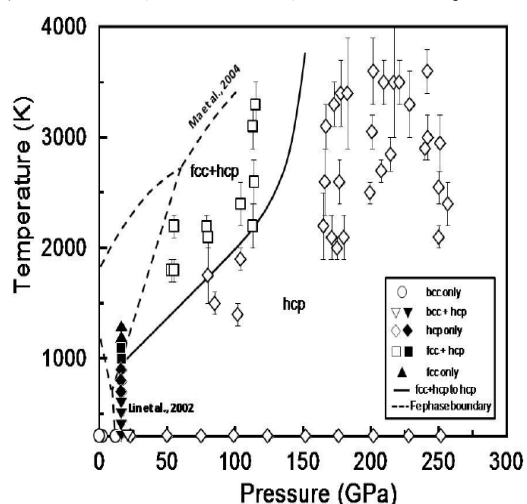
上記の実験と同時に、マルチアンビル装置と放射光を用いて高温高压での X線イメージング法によって、核を構成する金属液体の密度、粘性、界面エネルギーを測定する。この目的に使用する。この装置は、超高压変形試験機金型及び同試験機油圧制御装置は、KEK-PF (Photon Factory)に導入し、地球核物質の変形実験により、内核の地震波異方性の起源を解明する。この装置は、我が国では初めて放射光施設に導入されたものである。

4. これまでの成果

金属鉄軽元素合金の高圧相の研究

- (1) 核内部の条件において、鉄・ニッケル合金、鉄・軽元素 (FeNi, FeNiSi, Fe₃S, (FeNi)₃S など) 系の高圧相転移と圧縮特性を解明する実験を行った。その結果 (FeNi)₃S 系においては、200GPa, 2000K まではこの相が安定に存在することを見出した。
- (2) 地球中心を越える超高压下 374GPa において、FeNiSi 合金の X線回折実験に成功した。この結果を用いて、内核の Si の量を推定した。
- (3) 内核の条件に近い 242GPa, 3600K において、高温高压実験を可能にし、Fe-Si 系の高圧相として hcp 相が安定であることを明らかにした。

かにし、内核の異方性の原因が hcp-FeSi 相の選択配向である可能性を示した。



金属鉄軽元素合金の融解および核マントル反応の研究

(1) 約 30GPa 約 3000℃ までの条件で MgSiO₃ ペロブスカイトと金属鉄が反応し金属鉄メルト中に Si と O が溶解する反応を確認した。それらの金属鉄への溶解度の温度、酸素分圧依存性を明らかにした。

(2) 140GPa 2000-4000K を条件で金属鉄と下部マントル鉱物（ペロブスカイト相、ポストペロブスカイト相、ホーランドイト相など）の反応様式を解明した。そして、Si と O の金属鉄への溶解度の圧力依存性を明らかにした。

(3) 金属鉄と高圧で安定な含水相 δ AlOOH 相との反応を明らかにした。60GPa 以上の圧力では、1300K 以上で FeH が生成し含水相は分解することが明らかになった。

金属鉄軽元素系の液体の物性研究

(1) 外核の軽元素を解明するために、浮沈法によって、様々な組成の Fe-S 液体の密度を 4GPa で明らかにした。そして、Fe-S メルトが負の混合体積をもつ非理想性を示すことを明らかにした。

(2) SP8 および PF 設置のマルチアンビル高圧装置と放射光を組み合わせて、液体の密度を測定する X 線吸収法、落球影像法を開発し、外核を構成する鉄軽元素系 (S, Si など) 液体の密度および粘性を測定した。

(3) X 線ラジオグラフィ法によって、1.5GPa のもとで Fe-S, Fe-C 系の液体とマグマ間の界面エネルギーの測定に世界で始めて成功した。

5. 今後の計画

上記の研究成果を論文化するとともに、内核の圧力、高温での鉄ニッケル軽元素合金の高圧相の探索を行う。そのために、より

高温を安定に発生するためにダイヤモンドアンビルの試料部構成や加熱システムの改良を行う。マルチアンビルと放射光を活用して、引き続き金属軽元素系液体の密度、粘性、界面エネルギーの測定を継続するとともに、内核物質の変形実験を行う。

6. これまでの発表論文等 受賞等

Bowen Award from VGP section-AGU, (米国地球物理学連合より 2007)

Distinguished Professor (東北大より 2008)

主要論文

Asanuma, H., **E. Ohtani**, T. Sakai, **H. Terasaki**, S. Kamada, N. Hirao, N. Sata, Y. Ohishi, Phase relations of Fe-Si alloy up to core conditions: Implications for the Earth inner core, *Geophysical Research Letters*, 35, doi:10.1029/2008GL033863, 2008.

Terasaki, H., S. Urakawa, K. Funakoshi, N. Nishiyama, Y. Wang, K. Nishida, T. Sakamaki, **A. Suzuki**, **E. Ohtani**, In situ measurement of interfacial tension of Fe-S and Fe-P liquids under high pressure using X-ray radiography and tomography techniques, *Physics of Earth and Planetary Interiors*, in press, 2009.

Nishida K., **Terasaki H.**, **Ohtani E.**, **Suzuki A.**, The effect of sulfur content on density of the liquid Fe-S at high pressure. *Phys. Chem. Minerals*, doi 10.1007/s00269-008-0236-4, 2008.

Ohtani, E. and Sakai, T., Recent advances in the study of mantle phase transitions. *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 170, 240-247, 2008.

Tsuno K., **Terasaki H.**, **Ohtani E.**, **Suzuki A.**, Asahara Y., Nishida K., Sakamaki T., Funakoshi K., **Kikegawa T.**, In-situ observation and determination of liquid immiscibility in the Fe-O-S melt at 3 GPa using a synchrotron X-ray radiographic technique. *Geophysical Research Letters*, vol. 34, L17303, doi:10.1029/2007GL030750, 2007.

Sakai T., **Kondo T.**, **Ohtani E.**, Terasaki H., Endo N., Kuba T., Suzuki T. and Kikegawa T., Interaction between iron and post-perovskite at core-mantle boundary and core signature in plume source region. *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi: 10.1029/2006GL026868, 2006.

Hirao N., **Ohtani E.**, **Kondo T.**, Endo N., Kuba T., Suzuki T. and **Kikegawa T.**, Partitioning of potassium between iron and silicate at the core-mantle boundary. *Geophys. Res. Lett.*, 33, doi: 10.1029/2005GL025324, 2006.

著書

Ohtani E. (Editor), Advance in High Pressure Mineralogy. Geological Soc. Am., Monograph volume 421, 242p, 2007.

ホームページ

http://www.ganko.tohoku.ac.jp/bussei/achievement/kakenhi/S_HP18-22/index.html