

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2006～2010

課題番号：18104009

研究課題名（和文） 地球中心核の構成と進化

研究課題名（英文） Structure and Evolution of the Earth' s Core

研究代表

大谷 栄治 (Ohtani Eiji)

東北大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：60136306

研究分野：数物系科学

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、核マントル境界、高温高压、鉄ニッケル合金、軽元素

1. 研究計画の概要

本研究では、地球核の条件を実現し、そこでの核構成物質の構造と物性を高温高压実験にもとづいて明らかにし、地球核の実態を解明することを目的としている。この研究では、(1)内核を構成する物質の解明、(2)内核と外核の反応と元素分配関係と地球核の形成と進化の解明、(3)外核を構成する金属液体の物性の解明、外核とマントルの反応様式の解明を重点目標にして研究を行うものである。

2. 研究の進捗状況

(1) 金属鉄系元素合金の高压相の研究

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) 系の高压相転移と圧縮特性を解明する実験を行った。(FeNi)₃S系においては、未知の高压相が100GPa, 2000K以上で存在することを見出した。実験結果は解析中である。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、内核の珪素量を推定した。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系の高压相としてhcp相が安定であることを明らかにし、内核の異方性がhcp構造のFeSi相の選択配向である可能性を示した。

(2) 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金属鉄と水 (H₂O) の反応を 84GPa まで明らかにした。高温高压下で金属鉄と水が反応し、鉄水素化合物と酸化鉄が生成する。この反応により、コアの軽元素として水素が鉄に溶解することが明らかになった。

②約 30GPa のもとで約 3000°C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。

③140GPa 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。

④金属鉄と高压で安定な含水相 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、含水相は不安定化することが明らかになった。

(3) 金属鉄軽元素系の液体の物性研究

①外核構成する Fe-S メルトの密度を独自に開発した複合密度標準によって、浮沈法を用いて決定した。そして、このメルトの密度の組成による変化を明らかにした。そして、このメルトは負の混合の体積をもつ非理想性を持つことが明らかになった。

②SP8 および PF 設置のマルチアンビル高压装置を用いて、外核を構成する鉄・軽元素系 (S, Si など) 液体の密度を落球映像法および吸収法を用いて測定した。また液体の粘性係数を落球映像法を用いて測定した。

③1.5GPa のもとで Fe-S, Fe-C 系金属液体とマグマの間の界面エネルギーの測定に世界で始めて成功した。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。すなわち、目的を超える以下のような幾つかの顕著な成果が得られている。

(1)地球中心の365GPaを越える374GPaの超高压を、静水压性を考慮したNaClの圧力媒体を用いて発生することに成功した。地球核物質の静水压加圧として、世界最高圧で

ある。この条件でFeNiSi合金ではhcp相が安定であることを明らかにした。

(2)内核の条件に迫る250-310 GPa, 3600 Kの条件でX線回折実験を可能にした。この条件でFeSi系のX線回折実験が可能になり、FeSi合金ではhcp相が安定であることが明らかになった。この条件での実験は、世界で初であり、パイロイト地球科学研究所のDubrovinsky et al. (2006)の実験を凌ぐものである。

(3)金属鉄-軽元素系の合金液体の密度の化学組成依存性を高圧下ではじめて測定できた。その結果、鉄イオウ系では常圧よりも非理想性が大きく、負の混合の体積を示す大きな非理想性を示すことが明らかになった。これは、思いもよらない成果であり、密度の欠損を説明するために外核に必要な軽元素量は、これまでの見積もりよりも多いことが明らかになった。

(4)核の物質を解明するために不可欠な物性は地震波速度である。我が国では初めて高輝度光科学研究所 (SPring-8) のBL35XUにおいて高圧下でのX線非弾性散乱測定を行い、FeNiSi系合金の弾性波速度測定を100GPa以上の圧力で測定が可能であることが明らかになった。これは、当初の計画を超える実験結果である。

4. 今後の研究の推進方策

核の圧力において高温での様々な組成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よう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。より高温を安定に発生するためには、ダイヤモンドアンビル面からの熱の伝導による散逸を抑えるために、圧力媒体としてNaClやアルミナに代わる熱絶縁性の良い物質、例えばアルゴンなどの使用を検討する。また、既存の圧媒体を用いても試料部や熱絶縁層を厚くするための試料部の構成を改良し、例えばダイヤモンド粉末を含む複合ガスケットなどの使用を試みる。また、加熱方法についてはパルスレーザーによる加熱法などの新方法を試みる。

また、核マントル境界の性質を解明するために、ケイ酸塩物質の熔融実験を行い、核マントル境界の部分熔融の可能性を評価する。マルチアンビルと放射光を活用して、引き続き様々な金属軽元素系メルトの密度、粘性、界面エネルギーの測定を継続するとともに、地球核物質の変形実験を行う。

5. 代表的な研究成果

〔雑誌論文〕(計40件,内査読有22件 査読無18件)

1.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. 査読有

2.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 査読有

3.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. 査読有

4.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. 査読有

5.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. 査読有

〔学会発表〕(計89件うち国際42、国内47)

1.Ohtani E., Chemical reactions and element partitioning at the core-mantle boundary. *Goldschmidt 2008*, Vancouver, Canada, July 13-18, 2008.

2.Ohtani E., Physical and chemical properties of melts under deep earth conditions and their importance in geodynamics. 2007 AGU Fall Meeting, San Francisco, USA, December 10-14, 2007. (Bowen Lecture, Invited)

3.Ohtani E., T. Sakai, T. Kawazoe, T. Kondo, Metal-silicate fractionation in the deep magma ocean and light elements in the core, 16th Annual V.M. Goldschmidt Conference 2006, S3-03, Melbourne, Australia, August 26– September 2, 2006. 招待講演

〔図書〕(計2件)

1.Ohtani E. et al. (Editor), *Advances in High Pressure Mineral Physics: from Deep Mantle to the Core*. *Proceedings of High-Pressure Mineral Physics Seminar-7*, Special Issue of *Phys. Earth Planet. Inter.*, Elsevier, in press, 2009. 査読有

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

〔その他〕

ホームページ

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

受賞等: 大谷栄治 (研究代表者)

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

2. Distinguished Professor (東北大より 2008)

寺崎英紀 (研究分担者)

1. 平成 20 年度鉱物科学会研究奨励賞受賞(日本鉱物科学会より)

2. 平成 20 年度日本高圧力学会奨励賞受賞(日本高圧力学会より)