

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 5 日現在

機関番号：16301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K13563

研究課題名(和文)地球外核構造研究の新展開：液体鉄合金の高圧高温その場XAFS測定

研究課題名(英文) In situ high pressure and high temperature XAFS measurements of liquid iron alloys

研究代表者

野村 龍一 (Nomura, Ryuichi)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・特定助教

研究者番号：40734570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地球や惑星深部に存在する液体核の構造を実験研究によって明らかにすることを目的としている。本課題ではその最初の一步として、X線吸収微細構造解析(XAFS)を高圧実験に応用するための技術的土台作りを行った。具体的には、大型放射光施設Spring-8のXAFSビームラインに高圧環境下での圧力測定に重要な粉末X線回折(XRD)測定系を導入し、XAFSとXRDの複合測定系を立ち上げた。また、より高温環境での実験のため、外部抵抗加熱式ダイヤモンドアンビル高圧装置にランタンクロマイトヒーター、及びイリジウムヒーターを導入し、加えて断熱環境の最適化を行った。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study is to construct high pressure and high temperature in-situ XAFS measurement system using externally heated diamond anvil cell. We introduced X-ray diffraction measurement system into XAFS beamline at Spring-8 to develop combined XAFS and XRD measurement system. We also developed the heater and the thermal insulator of externally heated diamond anvil cell to perform the experiments at higher temperature than previously achieved.

研究分野：高圧地球科学

キーワード：内部ダイナミクス・物性 高圧地球深部科学

1. 研究開始当初の背景

地球内部は地震学的・物質科学的観点から図1のような層構造をなしていると考えられている。地下深さ2900-5100 kmに存在する外核は液体鉄合金でできているが、高压液体実験研究の技術的困難さからその構造の理解は進んでいなかった。特に液体の構造解析に力を発揮する広域 X 線吸収微細構造 (EXAFS) 測定において、従来の単結晶ダイヤモンドアンビル高压装置 (DAC) を用いた高压その場実験では、単結晶アンビル由来のグリッチが測定上大きな問題として存在していた。しかしながら近年、ナノ多結晶ダイヤモンド [1] をアンビル材とすることでグリッチフリーの XAFS 測定が可能となっている [2]。

欧州シンクロトロン放射光施設 (ESRF) では、エネルギー分散型光学系にレーザー加熱式 DAC を組み合わせた地球深部物質の超高压超高温その場 EXAFS 測定実験が試みはじめられている [3]。エネルギー分散型光学系を用いた瞬間的 EXAFS 測定は、レーザー加熱式 DAC に係る温度の時間不安定性という欠点を補い、超高温での実験を可能にし得る一方で、取得可能なエネルギー範囲が限られることや、大きな温度勾配が付随することなど、問題点も多い。

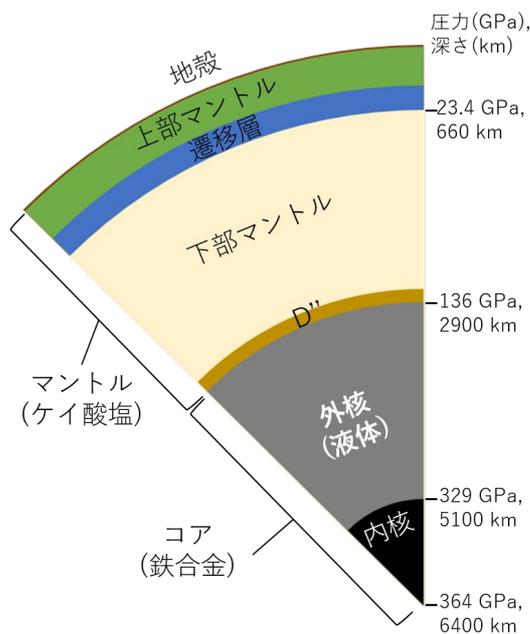


図1 地球の断面図。

2. 研究の目的

本研究の目的は、外部抵抗加熱式 DAC に従来のエネルギー走査型光学系を組み合わせ、液体鉄合金を高圧その場 EXAFS 測定することで、地球外核や惑星液体核の構造を明らかにすることを目的としている。エネルギー走査型 EXAFS 測定はエネルギー分散型に比べて長時間の測定が必要なものの、より広いエネルギー範囲の EXAFS データを取得できる長所がある。抵抗加熱式 DAC は温度の

時間安定性が高く、温度勾配も極めて小さいため、エネルギー走査型測定の欠点を補う。一方で、実験可能温度はレーザー加熱法に比べ格段に低い欠点がある。そのため、抵抗加熱式 DAC の実験可能温度を向上させることで、エネルギー分散型+レーザー加熱 DAC の欠点を克服した実験が可能になるポテンシャルを秘めている。

また、地球外核のような超高压環境下において微小試料の EXAFS 測定を行うためには、ミクロンサイズの高強度な放射光 X 線が欠かせない。高温高压液体試料の圧力決定、および試料の融解判定には粉末 X 線回折 (XRD) との複合測定が重要である。

以上をまとめると、本研究の目的は大きく3つに分けられる。

- 1 EXAFS と XRD の複合測定系の導入
- 2 高温高压その場 EXAFS 測定法の確立
- 3 抵抗加熱式 DAC の実験可能温度の向上

3. 研究の方法

高压その場 EXAFS 測定には、大型放射光施設 SPring-8 の XAFS ビームライン BL39XU を利用した。抵抗加熱法については、本研究課題では最初のステップとして、外部抵抗加熱法の技術開発を行った。

4. 研究成果

(1) 研究の主な成果

サブミクロンの X 線を用いる EXAFS 測定において、融けて厚みが不均質になった高压液体の測定には、測定中の試料位置安定性が重要なファクターとなる。高温に伴うステージの膨張や循環冷却水の振動などを解消することで、再現性のある EXAFS データを取得可能になった。

本研究経費で XRD 検出器であるフラットパネルセンサー (浜松ホトニクス C9730-DK-10) 及び自動ステージ式を購入し、高压その場で XAFS と XRD の複合測定が可能実験系を立ち上げた (図2)。

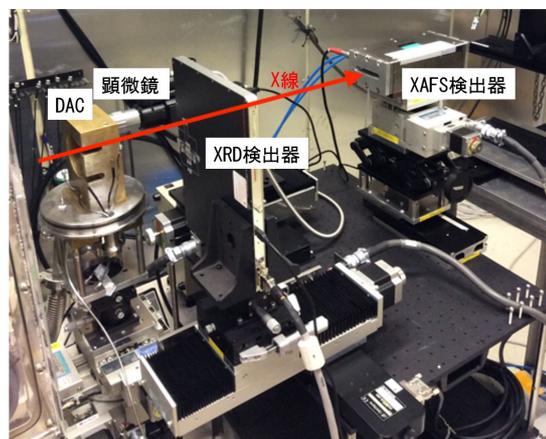


図2 大型放射光施設 SPring-8 BL39XU に設置された EXAFS-XRD 複合測定系。

また、LaCrO₃ ヒーター及びイリジウムヒーターを導入し、試料周りの断熱環境の最適化を行うことで、外部抵抗加熱式 DAC を用いた実験温度の向上に成功した。

(2) 得られた成果の国内外における位置づけとインパクト

近年の高圧その場 EXAFS 測定研究の進展は目覚ましく、特に ESRF においてレーザー加熱式 DAC とエネルギー分散型光学系を組み合わせた超高温高圧その場測定実験が精力的に行われている。本研究で立ち上げた測定系とこれらの研究は互いの欠点を相補的に補うものであり、その学術的意義は大きい。

(3) 今後の展望

本課題研究期間を通じて当初の目的であった実験系の基本的な立ち上げを終えることができた。本実験系は地球・惑星深部に存在する液体核の構造を理解する上で基幹的な実験技術となる。今後様々な圧力・温度・組成で液体鉄合金の EXAFS データを取得することで、地球・惑星液体核の構造に重要な制約を与えられると期待できる。そのためにも、本研究で対象とした外部抵抗加熱式 DAC だけでなく、より高温の発生が可能な内部抵抗加熱式 DAC の技術確立を行っていく必要がある。

< 引用文献 >

- [1] Irifune et al. (2003) Nature 421, 599-600.
- [2] Ishimatsu et al. (2012) Journal of Synchrotron Radiation 19, 768-772.
- [3] Mathon et al. (2016) High Pressure Research 36, 404-418.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 5 件)

¹ Ryuichi Nomura, Shintaro Azuma, Kentaro Uesugi, Yuki Nakashima, Tetsuo Irifune, Toru Shinmei, Sho Kakizawa, Yohei Kojima, and Hirokazu Kadobayashi, High-pressure rotational deformation apparatus to 135 GPa, Review of Scientific Instruments, 査読有、88、2017、044501 doi: 10.1063/1.4979562

² 野村龍一、高圧高温その場 X 線ラミノグラフィで切り拓く新しい超高压地球科学、SPRING-8/SACLA 利用者情報、査読無、22、2017、22-25
<https://user.spring8.or.jp/sp8info/?p=34444>

³ Ryuichi Nomura, Kentaro Uesugi, High-pressure in situ X-ray laminography using diamond anvil cell, Review of Scientific Instruments, 査読有、87、2016、

046105

doi:10.1063/1.4948315

⁴ Chie Kato, Kei Hirose, Ryuichi Nomura, Maxim D. Ballmer, Akira Miyake, Yasuo Ohishi, Melting in the FeO-SiO₂ system to deep lower-mantle pressures: Implications for subducted Banded Iron Formations, Earth and Planetary Science Letters, 査読有、440、2016、56-61
doi:10.1016/j.epsl.2016.02.011

⁵ Ryuichi Nomura, Low core-mantle boundary temperature inferred from the solidus of pyrolite, SPRING-8 Research Frontiers 2014 査読無、2015、74-75.

http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/research_frontiers/html/rf14

[学会発表] (計 14 件)

¹ 野村龍一、桑原 秀治、國本 健広、東 真太郎、高圧実験から制約する核-マントルの化学: 経過報告、新学術領域研究 平成 28 年度 成果発表会、2017 年 3 月 27 日[月]、海洋研究開発機構(JAMSTEC) 横浜研究所三好記念講堂(神奈川・横浜市)

² Ryuichi Nomura, Shintaro Azuma, Kentaro Uesugi, Yuki Nakashima, Tetsuo Irifune, Toru Shinmei, High-pressure rotational deformation apparatus to 135 GPa, 第 4 回 PRIUS シンポジウム、2017 年 3 月 1 日[水]、愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター(愛媛・松山市)

³ Ryuichi Nomura, Shintaro Azuma, Kentaro Uesugi, Yuki Nakashima, Tetsuo Irifune, Toru Shinmei, High-pressure rotational deformation apparatus to 135 GPa, 2016 International Conference on the Earth's Deep Interior, November, 2016, Wuhan (China)

⁴ 野村龍一、東真太郎、上杉健太郎、中島悠貴、入船徹男、新名亨、放射光 X 線ラミノグラフィの超高压変形実験その場観察への応用、第 57 回高圧討論会、2016 年 10 月 28 日[金]、筑波大学大学会館(茨城県・つくば市)

⁵ 野村龍一、ダイヤモンドアンビル装置を用いた地球深部物質の先進的研究、第 57 回高圧討論会、2016 年 10 月 26 日[水]、筑波大学大学会館(茨城県・つくば市)

⁶ 野村龍一、上杉健太郎、ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧その場 X 線ラミノグラフィ撮像法の開発、日本地球惑星科学連合 2016 年度連合大会、2016 年 5 月 23 日[月]、

幕張メッセ (千葉県・千葉市)

7 野村 龍一、ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧その場X線ラミノグラフィ撮像法の開発、新学術領域研究 平成 27 年度成果発表会、2016 年 3 月 28 日[月]、東京大学 地震研究所 (東京都・文京区)

8 野村 龍一、地球深部の構造と進化：今までに分かったこととこれから目指すこと~大型放射光/中性子線施設を用いた実験的研究~、物性物理学・一般物理学分野の展開と大型研究計画、2016 年 3 月 11 日[金]、日本学術会議 (東京・港区)

9 野村 龍一、抵抗加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いた液体鉄合金の XAFS 測定、第 3 回 PRIUS シンポジウム、2016 年 2 月 23 日[火]、愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター (愛媛県・松山市)

10 野村 龍一、上杉健太郎、ダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧その場X線ラミノグラフィ撮像法の開発、第 56 回高圧討論会、2015 年 11 月 11 日[水]、JMS アステールプラザ (広島県・広島市)

11 Ryuichi Nomura, Kentaro Uesugi、High-pressure in situ x-ray laminography using diamond anvil cell、The Earth's Mantle and Core: Structure, Composition, Evolution、Ehime (Japan)

12 野村 龍一、Core formation and metal-silicate partitioning、Strategies on geochemical studies in "Core-Mantle Evolution"、2015 年 10 月 16 日[金]、新潟大学 (新潟県・新潟市)

13 野村 龍一、パイロライトソリダス温度から推定される低いコア-マントル境界温度、地球惑星科学研究会・高圧物質科学研究会・機能性材料ナノスケール原子相関研究会 合同研究会、2015 年 9 月 12 日[土]、九州大学 筑紫キャンパス C-CUBE (福岡県・福岡市)

14 野村 龍一、超高压下での分配実験：今できることとこれからできるようにすること、キックオフシンポジウム、2015 年 8 月 7 日[金]、愛媛大学 地球深部ダイナミクス研究センター (愛媛県・松山市)

〔その他〕

ホームページ等

<https://sites.google.com/site/ryuichinomura85/>

6 . 研究組織

(1)研究代表者

野村 龍一 (NOMURA, Ryuichi)

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・特定助教

研究者番号：40734570