

岡山大学 惑星物質研究所 共同利用・共同研究 成果報告書

受入年度：2023 年度 前期・後期・随時

提出日：2024年 5月7日

共同利用研究の種類： 国際共同研究・一般共同研究・設備共同利用・ワークショップ

課題名： 超高压下における音速測定による内核の研究

共同研究員氏名： 大谷 栄治

所属・職名： 東北大学大学院理学研究科名誉教授・客員研究者

分担者氏名： 生田 大穰

分担者所属・職名： 岡山大惑星研・スーパーテクニシャン

分担者氏名： 増野 いづみ

分担者所属・職名： 岡山大惑星研・特任助教

分担者氏名： 劉 璐 (Liu Lu)

分担者所属・職名： HPSTAR (上海)・Post Doc

分担者氏名： 芳野 極

分担者所属・職名： 岡山大惑星研・教授

研究報告・ワークショップ実施報告：

研究目的

地球核の実体を解明するためには密度と弾性波速度の測定を地球核条件で行うことが不可欠である。これまで地球核を構成する物質の音速は、低圧での測定に限られ、測定結果を核の条件に外挿することによって推定されてきた。そのために、核の条件での鉄や鉄軽元素合金の音速推定の不確かさが大きく、観測される核の地震波速度と鉄や鉄軽元素合金の音速の信頼できる差を見積もることが不可能であり、化学組成やその不均質性の議論には主に密度のみが用いられてきた。しかしながら、核の密度は地震波速度の観測値と比較して信頼度が低く、十分に信頼できる核の軽元素量などの化学組成の議論ができていないのが現状である。また、核を構成すると考えられている物質の密度や音速は、第一原理計算によっても計算されているが、その計算結果も、計算手法や研究グループごとの不一致が大きい。このような問題点を解決するために、超高压・高温での核を構成する金属鉄や金属鉄軽元素合金の音速について信頼性のある実験データを得ることが本研究の目的である。本研究では、地球核の条件を目指して鉄軽元素合金の音速を、高温高压条件で X 線非弾性散乱法を用いて測定し、地震学的に得られている核の地震波速度モデルの密度と音速と比較し、内核の化学組成、その不均質性と起源に制約を与えることを目的とする。

## 実施内容

我々はこれまで、放射光を用いた X 線非弾性散乱法によって、内核の圧力である 310–330 GPa・室温での金属鉄 (hcp-Fe) の縦波速度の測定に成功している (Ikuta et al, 2022).

本共同利用研究では、純鉄、硫化鉄 ( $\text{Fe}_3\text{S}$ ,  $\text{Fe}_2\text{S}$ ) などの、内核を構成する物質である可能性がある金属鉄および鉄軽元素化合物について、核マントル境界の 135 GPa を超える圧力と 2000 K を超える高温を目指して、ダイヤモンドアンビル高圧装置と放射光を用いた高温高圧 X 線非弾性散乱測定によって音速測定を行った。  $\text{Fe}_2\text{S}$  および  $\text{Fe}_3\text{S}$  の実験試料については、HPSTAR の石井貴之博士 (現所属: 惑星物質研究所) に合成をお願いした。実験に用いるダイヤモンドアンビル高圧装置への試料のサンプリング等の実験準備は惑星物質研究所で行った。

高温高圧における音速については、惑星物質研究所のスタッフとの共同研究によって、スプリングエイトの理研ビームライン (BL43LXU) において、放射光を用いて高温高圧 X 線非弾性散乱実験によって測定を行った。同時に、粉末 X 線回折実験によって試料の格子体積を測定して密度を決定するとともに、圧力媒体の状態方程式を用いて実験の圧力を決定した。なお、本研究には、研究期間中に国内に滞在していた HPSTAR (上海) 博士研究員 Lu Liu 博士も参加し、Liu 博士が合成した水素を含む鉄酸化物の音速測定も試みた。

## 研究成果

本研究においては、世界で初めて超高圧で安定な  $\text{Fe}_2\text{S}$  の地球核の高温高圧での音速測定に成功した。この測定によって、Fe-S 系の化合物間の音速と硫黄量の関係が明らかになり、内核に含まれる硫黄量について、より正確な制約を与えることを可能とした。また、Lu Liu 博士が合成した水素を含む鉄酸化物の室温高圧における縦波速度の測定に成功した。この測定によって、この物質には縦波速度の大きな密度 (圧力) 依存性が存在することを見出し、この物質の存在が下部マントルの地震波速度に影響することを見出した。以上の結果は、2024 年 5 月の日本地球惑星科学連合大会において発表予定である。

## 研究成果の発表リスト

D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, T. Sakamaki, I. Mashino, D. Ishikawa, A. Q. R. Baron, Sound velocity measurement of B2 Fe-Ni-Si alloys at high pressure and high temperature. Japan Geoscience Union Meeting 2023

D. Ikuta, Sound velocity measurements under extreme pressure conditions by inelastic x-ray scattering. SPring-8 Users Community (SPRUC) Momentum-Resolved Spectroscopy Group Meeting FY2023

D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, T. Sakamaki, D. Ishikawa, A. Q. R. Baron, Sound velocity measurement for high-pressure phase of iron sulfide compounds at high pressure and high temperature. Japan Geoscience Union Meeting 2024 (発表予定)

L. Liu, A. Q. R. Baron, E. Ohtani, H. Fukui, D. Ikuta, D. Ishikawa, L. Zhang, Sound velocities of the hydrous iron-rich HH1-phase: implication for the lower mantle seismic heterogeneities. Japan Geoscience Union Meeting 2024 (発表予定)