



Title	Development of density measurement at high pressure and high temperature using X-ray absorption method combined with diamond anvil cell
Author(s)	鶴岡, 棕
Citation	大阪大学, 2025, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/101934
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (鶴 岡 棕)

論文題名

Development of density measurement at high pressure and high temperature using X-ray absorption method combined with diamond anvil cell
(ダイヤモンドアンビルセルを用いた高温高压下でのX線吸収法による密度測定法の開発)

論文内容の要旨

地球や惑星の液体核の形成やダイナミクスを考える上で高温高压下での試料の密度は極めて重要である。X線吸収法はアモルファス・液体試料の密度を直接測定する有用な手法である。しかしダイヤモンドアンビルセル(diamond anvil cell: DAC)を用いたX線吸収法は7 GPa, 720 Kに限られていた(Shen et al. 2002, Takubo et al. 2019)。

まず本研究では液体Gaを試料として外熱式DACを用いてX線吸収法による密度測定を533 K, 10 GPaまでの温度圧力条件で実施した。得られた密度に状態方程式(Murnaghan, 3次のBirch-Murnaghan, Vinet)をフィッティングすることで、液体Gaの弾性特性(等温体積弾性率 K_{T0} 、およびその圧力微分 K'_{T0})を求めた。 K_{T0} を4–6と仮定すると、液体Gaの500 Kでの K_{T0} は 45.7 ± 1.0 – 51.7 ± 1.0 GPaと決定された。得られた K_{T0} 及び K'_{T0} の値は使用した状態方程式に関係なく、ほぼ同じ値であった。本研究で得られた液体Gaの圧縮曲線は、先行研究と比較してやや硬い傾向を示している。

地球や惑星の液体核を主に構成する鉄合金の融点は高く、より高温条件での密度測定を行う必要がある。そこで本研究ではレーザー加熱式DACでのX線吸収法による密度測定法の開発を行った。加熱レーザーのDACへの入射角を 20° にし、加熱レーザー用ミラーがX線の経路と重ならないように配置することで、レーザー加熱中の試料のX線吸収法による密度測定を可能にした。300–2130 K, 11.2–14.3 GPaまでの温度圧力条件で固体および液体Feの密度測定を実施した。吸収法により求めた固体Feの密度の精度は4.5–4.7%であり、X線回折から求めた固体Feの密度と比較して、吸収法で求めた固体Feの密度の確度は0.5%であった。また吸収法によって求めた液体Feの密度は2130 K, 10.2 GPaで 7.44 ± 0.36 g/cm³であり、4.8%の精度であった。吸収法による密度誤差の評価を行い、X線透過率の測定誤差を0.05%程度に抑え、試料長を10–20 μ mほど確保することで密度の精度を1%程度に向上できることを確認した。本実験技術は地球や惑星の液体核を構成する試料を広範な温度圧力条件で正確に密度測定を行うことを可能にする。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (鶴 岡 棕)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 近藤 忠
	副 査	教授 寺田 健太郎
	副 査	教授 寺崎 英紀
	副 査	准教授 大高 理
	副 査	准教授 西 真之

論文審査の結果の要旨

地球型惑星の深部研究は、この 20 年ほどの実験技術の劇的な向上により、多くの固体物質に対しての再現実験が可能になってきた。しかしながら、液体相を扱う実験的研究は今だに技術的なハードルが高く、温度圧力下での試料は単に密度を測定することでさえ大きな困難を伴っている。本研究では、現在、最も静的高圧力発生が可能な装置であるダイヤモンドアンビルセルを用いて液体金属の密度を X 線吸収法を用いて測定する方法を開発し、それを地球核の主成分である鉄の融解・測定に応用するための開発を行った。この博士論文には、大きく分けて二つの重要な内容が含まれている。一つは基本的な X 線吸収実験手法の開発で、もう一つは、この測定を金属鉄で実現するための様々な問題点の洗い出しである。共に SPring-8 での強力な X 線を有効利用し、既存のステーションのセットアップでは密度測定に問題がある点に対して改良を提案した。その内容は、測定精度を高めるための検出器の配置位置や感度の改善、標準的な加熱レーザー光学系からの変更、標準物質の選択や試料室の周りのなどサンプリング方法の改善、信頼性を向上するための解析手順の検討や、将来的なより高圧側での実験に対する示唆など多岐にわたる。

1 つ目の X 線吸収実験の開発では、室温よりやや高い程度の融点を持つガリウムを用いて、温度圧力下での密度が既知の標準物質を同時に測定することによって 10GPa までの固体ガリウム及び液体ガリウムの密度測定を行い、その圧縮特性を精度良く決定した。本データでは、より低圧側で測定されている先行研究や、熱力学的データから間接的に演繹している他のデータとの比較を行い、その差の原因についても議論を行って有用な知見を得ている。

2 つ目の重要点として、融点が非常に高い実験試料として最も難易度の高い純鉄にチャレンジし、密度測定で生じる問題点を明らかにした。実験では熱伝導率の高いダイヤモンドからの試料の断熱及び並行性を確保するため、サフィアピストンを用いたダイヤモンドアンビルの二段押し手法という、技能的にも難しい試料構成を新たに導入し、誤差は大きいものの高い確度で 20GPa 領域までの固体及び 10GPa 領域での液体鉄の密度を実際に測定している。大きな誤差原因に関する解析では、標準物質や吸収コントラストの問題ではなく、試料の絶対的な厚みが重要な因子であることを示し、今後の 60GPa 領域までの液体密度の測定の目処を得たことは意義深いと考える。

以上のように、本研究では惑星最深部にある金属核に対して物質科学的な基本的情報となる液体の密度測定を超高圧力下で測定する基礎技術を開発し、将来的な高圧側での鉄合金を想定した実験に対する提言を行っている点で重要である。尚、前半部分は、”Density and elastic properties of liquid gallium up to 10 GPa using X-ray absorption method combined with externally heated diamond anvil cell”として High Pressure Research 誌 (Taylor&Francis 社) に筆頭著者として発表を行っている。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分な価値を有するものと認める。