

# X線吸収法を用いた Fe-S, Fe-Si 融体の密度測定と融体の体積弾性率精密測定

Density measurement of liquid Fe-Si and the effect of composition on its bulk modulus

大谷 栄治<sup>1)</sup> 立山 隆二<sup>1)</sup> 寺崎 英紀<sup>1)</sup> 西田 圭佑<sup>1)</sup>  
浦川 啓<sup>2)</sup> 中塚 明日美<sup>2)</sup> 片山 芳則<sup>3)</sup>

Eiji OHTANI Ryuji TATEYAMA Hidenori TERASAKI Keisuke NISHIDA

Satoru URAKAWA Asumi NAKATSUKA Yoshinori KATAYAMA

<sup>1)</sup> 東北大学 <sup>2)</sup> 岡山大学 <sup>3)</sup> 原子力機構

## (概要)

地球中心核を構成する鉄合金の高圧下における密度は、中心核の組成・物性を調べる上で不可欠な物理量である。特に地震波観測により得られる弾性波速度は、密度と弾性率の関数となる。このため観測結果と直接比較できる密度は重要な物性である。我々は Fe・Fe-S・Fe-Si 融体の密度の温度・圧力依存性を正確に求めるため、X線吸収法を用いて 0.6~3.2GPa, 1373~2300K における密度測定を行った。Fe 融体の密度は、固体の密度よりも低く、絶対値は 1 気圧の液体より大きいことがわかった。さらに Fe-10wt%S 融体の 1700K と 1800K の間の密度減少から、この温度で試料は全溶融したと考えられ、また 1800K および 1900K における融体の密度測定に成功した。また Fe-10wt%Si 融体の密度は固体の密度よりも低く、絶対値は 1 気圧の液体より大きかった。

キーワード : X線吸収法、高圧、密度、体積弾性率

## 1. 目的

液体である鉄を主成分とする地球外核には 10%程度の S, Si, C といった軽元素が含まれることが地震波観測により示唆されている。鉄合金融体の密度を調べることにより、核に含まれる軽元素の種類や量について制約を与えることができる。また、金属融体の密度の圧力依存性を求融体、物質の弾性波速度は密度と体積弾性率によって表現されるため、その融体の弾性波速度についても評価することができるようになる。本申請課題では X線吸収法を用いて、Fe, Fe-S, Fe-Si 融体の密度の温度・圧力依存性を正確に求め、様々な状態方程式を用いて体積弾性率を評価し、核の軽元素の種類・量について制約を与えることを目的とする。

## 2. 方法

Fe-Si 融体の X線吸収法による密度測定は BL22XU に設置されているマルチアンビルキュービックプレス SMAP-180 を用いて行った (Sakamaki et. al., 2009)。圧力発生には先端サイズ 6 mm(回折 X線収集用の溝付き)の超硬合金アンビル(持ち込み)を使用した。エネルギー 34.8keV の単色 X線をコリメーターで 50  $\mu\text{m}$   $\times$  50  $\mu\text{m}$  に絞り、試料部に導入した。入射 X線と透過 X線の強度はイオンチャンバーを用いて測定した。プレスを一定間隔で動かしながらイオンチャンバーで強度測定を行なうことにより、試料の X線吸収プロファイルを得た。この吸収プロファイルとランベルト・ベールの式により密度を導出した。また試料の相同定、融解判定および圧力決定については、試料および圧力マーカー物質からの回折 X線をイメー

ジングプレートを用いて収集することにより行った。

試料容器には、高圧下における変形が一様で、試料より X 線吸収が小さくかつ試料と反応しにくい単結晶サファイア(持ち込み)を用いた。実験は圧力条件 0.5 から 5 GPa、温度条件は試料融点以上の条件である 1000~1800 °Cで行った。

### 3. 研究成果

#### 〈Fe の密度〉

下図に Fe の密度測定結果を示す(図1)。約 2000K で Fe は融解し融体の密度測定に成功した。鉄融体の密度は固体の密度よりも低く、絶対値は 1 気圧の液体よりは大きかった。

#### 〈Fe-10wt%S の密度〉

下図に圧力約 3.2GPa における Fe-10wt%S の密度の温度変化を示す(図2)。Fe-S 系は共融合金であり、1300K 以上で固液が共存する。1700K・1800K の間の密度の減少から、この温度で試料の全溶融が起こったと考えられ、1800K および 1900K における Fe-10wt%S 融体の密度測定に成功した。

#### 〈Fe-10wt%Si の密度〉

下図に Fe-10wt%Si の密度測定結果を示す(図3)。1400K と 1700K 間の密度減少から、この間の温度で試料は全溶融したと考えられる。Fe-10wt%Si 融体の密度は固体の密度よりも低く、絶対値は一気圧の液体より大きかった。

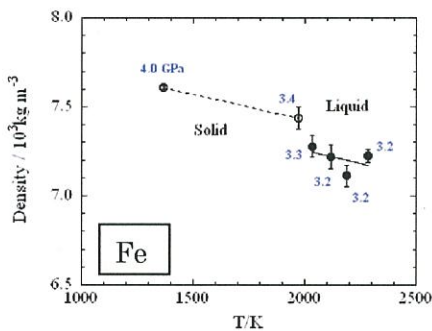


図 1. Fe の密度の温度依存性

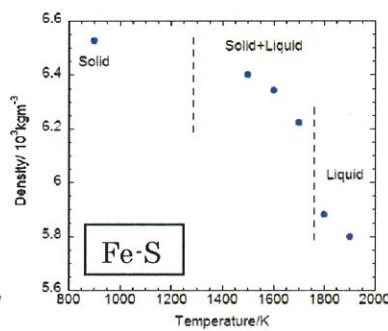


図 2. Fe-10wt%S の密度の温度依存性

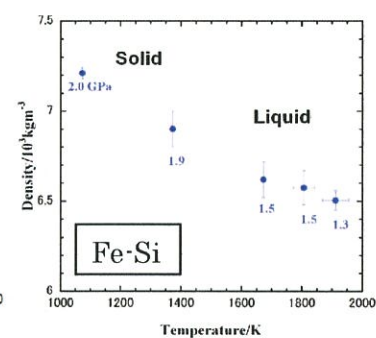


図 3. Fe-10wt%Si の密度の温度依存性

### 4. 結論・考察

#### 〈Fe の密度〉

Fe 融体の等温体積弾性率の外挿値を使って計算した密度と比較すると、2000K くらいでは測定密度が 0.1 くらい大きいですが、高温側では最高温度を除き良く合った。

#### 〈Fe-10wt%S の密度〉

Fe-10wt%S の場合、純物質である Fe や固溶体をつくる Fe-10wt%Si の場合と異なり、X 線密度で校正することが難しいため、密度の絶対値には不確かさがある。校正方法に関しては今後改善する必要がある。

#### 〈Fe-10wt%Si の密度〉

Fe-10wt%Si 試料について、今後はより高圧条件密度を求め、より正確な体積弾性率を導出する予定である。

### 5. 引用(参照)文献等

Sakamaki, T., Ohtani, E., Urakawa, S., Suzuki, A., Katayama, Y., 2009. Measurement of hydrous peridotite magma density at high pressure using the X-ray absorption method. Earth. Planet. Sci. Lett. 287, 293-297