課題番号　2013A　—E05

高温高圧下における Fe-C-S 融体密度の組成依存性の究明

Study of compositional dependency of Fe-C-S liquid density at high pressure and temperature

寺崎英紀[1)]　下山裕太[1)]　田窪勇作[1)]　浦川啓[2)]　桑原荘馬[1)]　近藤忠[1)]
大谷栄治[3)]　片山芳則[4)]

Hidenori TERASAKI, Yuta SHIMOYAMA, Yusaku TAKUBO, Satoru URAKAWA, Soma KUWABARA, Tadashi KONDO, Eiji OHTANI, Yoshinori KATAYAMA

[1)] 大阪大学　[2)]岡山大学　[3)]東北大学　[4)]原子力機構

概要）
Fe-C-S 融体の密度測定を X 線吸収法により、1700-2100 K, 5.5-5.8 GPa までの温度圧力条件で行った。また Fe-O 融体の密度を 6 GPa まで、Ni-NiS 融体の密度を 3 GPa までの条件で測定することができた。得られた密度データから、Fe-O 系の熱膨張率は Fe 融体の熱膨張率と大きく異ならないことがわかった。

キーワード：X 線吸収法、高温高圧、Fe-C-S 融体、密度

１．目的

地球外核の組成や構造を解明するためには、鉄融体の物性に与える軽元素の影響を定量的に評価することが必要である。これまで我々は、BL22XU において様々な二成分系鉄合金融体の高温高圧下での密度測定をおこない、それら密度の温度・圧力依存性から熱膨張率や体積弾性率といった弾性特性を明らかにしてきた (e.g., Shimoyama et al. 2013)。この結果により、鉄融体の圧縮性に与える軽元素の効果が軽元素種により大きく異なる事が明らかとなってきた。これまでは1つの軽元素の密度に与える効果を別々に調べてきたが、実際の惑星液体核には複数の軽元素が共存する可能性が十分に考えられる。したがって、より惑星内部の環境に近い多成分系（3 成分系）における密度測定を行うことが次なる段階として必要となる。3 成分系において各軽元素同士の密度への影響を調べることは核中の軽元素の選定及び量の推定には重要である。本研究では Fe-C-S の 3 成分系に着目する。Fe-C-S は 4-6 GPa,1700-2000 K にて液相混和することが分かっている(Dasgupta et al. 2009)。したがってこの温度・圧力以上の環境下における密度測定を行い、その組成依存性を明らかにする。

２．方法

高圧発生は BL22XU 設置の 180 ton キュービックマルチアンビルプレスを用いて行った。アンビル先端サイズは 4 mm を使用した。試料には Fe-3.5wt%C-3.5wt%S 組成を用い、その粉末を変形の少ないサファイア単結晶カプセルに封入した。ランベルト・ベールの式より、試料密度は入射 X 線・透過 X 線強度、試料 X 線吸収係数および試料厚みで表すことができる。このため単色 X 線(35keV)を試料部に導入し、入射 X 線と透過 X 線の強度をイオンチャンバーを用いて測定した。このときプレスを X 線と直行方向に動かすことにより水平方向の試料の吸収プロファイルを得た。得られた吸収プロファイルをランベルト・ベールの式を用いてフィッティングすることにより試料の密度を求めた（例えば Nishida et al. 2011)。試料の加熱には円筒形グラファイト抵抗ヒーターを使用し、W/Re3-25 熱電対を用いて測温を行なった。また、圧力は MgO と h-BN または MgO と Pt の混合粉末の X 線回折パターンから求めた。
また上記の試料に加え Fe-Fe0 および Ni-NiS 試料の密度測定も行った。

３．研究成果

今回の Fe-3.5wt%C-3.5wt%S 試料の測定では、温度圧力条件は 5.5-5.8 GPa, 1700-2000 K、液相混和状態で測定を行った。求める試料の吸収プロファイルの取得には成功し、温度の異なるいくつかの条件で測定をすることができた。密度の算出に必要なパラメータである質量吸収係数につい

ては、試料が溶融する前の固体時における回折線から求めた試料密度と試料のX線吸収プロファイルを用いて質量吸収係数が求められる。本研究では予想温度よりも低い温度で試料の部分溶融が始まった(800 K以下)ため、固体時の吸収プロファイルを得ることができなかった。このため吸収係数を求めるため今後は、試料をコールドプレスによりペレット状に合成した試料の吸収プロファイルを常圧下で取得し、質量吸収係数を求め、今回測定した吸収プロファイルから密度値を求め、これまで測定しているFe-C, Fe-S二成分系融体の密度に対してFe-C-S三成分系融体の密度の差異を明らかにし、軽元素の密度に与える効果を明らかにしていく予定である。
またFe-FeO試料は6GPaまで、Ni-NiS試料については3GPaまでの密度を測定することができた。得られた密度データから、Fe-O系の熱膨張率はFe融体の熱膨張率と大きく異ならないこともわかった。

４．結論・考察

Fe-C-Sの３成分系の液相混和状態における密度を5.8 GPaまでの条件で測定することができた。加えてFe-O, Ni-S融体の密度をそれぞれ6 GPa, 3 GPaまでの条件で測定した。得られた結果を基に今後は軽元素が密度に与える効果、特に二成分から三成分になった場合の密度の変化を定量的に明らかにしていく。

５．引用(参照)文献等

Dasgupta, R., Walker, D., 2008. Carbon solubility in core melts in a shallow magma ocean environment and distribution of carbon between the Earth's core and the mantle. Geochim. Cosmochim. Acta 72, 4627–4641
Nishida, K., Ohtani, E., Urakawa, S., Suzuki, A., Sakamaki, T., Terasaki, H., Katayama, Y., 2011. Density measurement of liquid FeS at high pressure using synchrotron X-ray absorption. American Mineralogist 96, 864-868
Shimoyama, Y., H. Terasaki, E. Ohtani, S. Urakawa, Y. Takubo, K. Nishida, A. Suzuki, Y. Katayama, The dependence of pressure and temperature on liquid Fe-3.5wt%C density and comparing with other light elements, Physics of Earth and Planetary Interiors, 224, 77-82、2013.